

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**  
**«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ**  
**імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**  
**МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ІНСТИТУТ**

**Кафедра прикладної гідроаеромеханіки і механотроніки**

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ О.Ф. Луговський  
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2019 р.

**Дипломний проект**  
**на здобуття ступеня бакалавра**

з спеціальності **131 Прикладна механіка**  
(код і назва)

на тему: Мобільний пристрій для тестування газопроводу

Виконав (-ла): студент (-ка) 4 курсу, групи МА-51  
(шифр групи)

Космина Софія Юріївна.....  
(прізвище, ім'я, по батькові) \_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник Губарев Олександр Павлович, д.т.н., професор  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) \_\_\_\_\_  
(підпис)

Консультант з охорони праці асистент Ковтун А.І.  
(назва розділу) (вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали) \_\_\_\_\_  
(підпис)

Консультант з технології машинобудування к.т.н. доц. Кореньков В.М.  
(назва розділу) (вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали) \_\_\_\_\_  
(підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) \_\_\_\_\_  
(підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті  
немає запозичень з праць інших авторів без  
відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2019 року

**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського»**

Інститут механіко-машинобудівний  
( повна назва )

Кафедра прикладної гідроаеромеханіки і механотроніки  
( повна назва )

Рівень вищої освіти - перший (бакалаврський )

Спеціальність 131 Прикладна механіка  
(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_  
(підпис) О.Ф. Луговський  
( прізвище ініціали)

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2019 р.

**ЗАВДАННЯ  
на дипломний проект студенту**

**Космині Софії Юріївні**  
(прізвище, ім'я, по батькові)

**1.Тема проекту: Мобільний пристрій для тестування газопроводу**

керівник проекту Губарев Олександр Павлович, д.т.н., професор

( прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання )

затверджена наказом по університету від “ 22 ” травня 2019 року № 1326-с

2. Термін подання студентом проекту \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до проекту \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

4. Зміст пояснювальної записки \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень, плакатів, презентацій тощо)

\_\_\_\_\_

## 6. Консультанти розділів проекту

| Розділ                        | Прізвище, ініціали<br>та посада<br>консультанта | Підпис, дата   |                     |
|-------------------------------|---|----------------|---------------------|
|                               |   | завдання видав | завдання<br>прийняв |
| 1. Охорона праці              | асист. Ковтун А.І.                              |                |                     |
| 2. Технологія машинобудування | доц. Кореньков В.М.                             |                |                     |
|                               |   |                |                     |
|                               |   |                |                     |
|                               |   |                |                     |
|                               |   |                |                     |
|                               |   |                |                     |

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| №<br>з/п | Назва етапів виконання дипломного<br>проекту (роботи) | Строк виконання<br>етапів проекту<br>( роботи ) | Примітка |
|----------|---|---|----------|
|          |   |   |          |
|          |   |   |          |
|          |   |   |          |
|          |   |   |          |
|          |   |   |          |
|          |   |   |          |
|          |   |   |          |
|          |   |   |          |
|          |   |   |          |
|          |   |   |          |
|          |   |   |          |
|          |   |   |          |
|          |   |   |          |
|          |   |   |          |
|          |   |   |          |
|          |   |   |          |

**Студент**

\_\_\_\_\_

( підпис )

\_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

**Керівник проекту**

\_\_\_\_\_

( підпис )

\_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

## Анотація

Дана робота присвячена розробці мобільного пристрою для тестування газопроводу з метою удосконалення процесу перевірки внутрішнього стану стінок газопроводів.

У дипломній роботі проведено детальний аналіз існуючих пристроїв та розроблених патентів для перевірки внутрішнього стану стінок газопроводу. Було визначено їх переваги та недоліки. Обґрунтовано необхідність створення мобільного пристрою та визначено необхідні конструктивні особливості пристрою.

Проведено всі необхідні розрахунки для створення пристрою та розроблено систему керування мобільним пристроєм.

Для більш чіткого уявлення будови мобільного пристрою для тестування газопроводу було створено його 3D модель. Для розуміння принципу керування пристроєм наведено електропневматичну схему.

Ключові слова: газопровід, мобільний пристрій, перевірка, тестування.

## Пояснювальна записка до дипломного проекту

на тему: *Мобільний пристрій для тестування газопроводу*  
*Пояснювальна записка*

Виконала: студентка 4 курсу, групи МА-51  
(шифр групи)

Космина Софія Юріївна  
(прізвище, ім'я, по батькові)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник Губарев О.П., д.т.н., професор  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

|     |      |          |        |      |  |      |
|-----|------|----------|--------|------|--|------|
|     |      |          |        |      |  | Арк. |
|     |      |          |        |      |  | 2    |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  |      |

## ЗМІСТ

|  |    |
|--|----|
| ВСТУП.....   | 6  |
| РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ПАТЕНТІВ ТА РОЗРОБОК .....   | 8  |
| 1.1 Аналіз патентів .....  | 8  |
| 1.2 Сучасні розробки для інспекції внутрішнього стану труб .....   | 15 |
| 1.3 Сучасні методи перевірки внутрішнього стану стінок газогонів .....   | 17 |
| 1.4 Визначення конструктивних особливостей модульного пристрою для<br>перевірки внутрішнього стану стінок газогону ..... | 19 |
| РОЗДІЛ 2. ОБҐРУНТУВАННЯ ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ З УРАХУВАННЯМ<br>УМОВ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ.....                                 | 21 |
| РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ ВИКОНАВЧИХ ПРИСТРОЇВ ТА ЇХ<br>ЕЛЕМЕНТІВ .....   | 26 |
| 3.1. Статичний розрахунок.....   | 26 |
| 3.1.1 Статичний розрахунок затискних пристроїв .....   | 26 |
| 3.1.2 Статичний розрахунок пристроїв повздовжнього переміщення .....   | 27 |
| 3.1.3 Статичний розрахунок пристроїв повороту .....  | 28 |
| 3.2. Динамічний розрахунок .....   | 28 |
| 3.2.1. Динамічний розрахунок фіксуючих пневматичних пристроїв .....  | 28 |
| 3.2.2. Динамічний розрахунок пристроїв повздовжнього переміщення .....   | 46 |
| 3.2.3. Динамічний розрахунок пристроїв повороту .....  | 52 |
| 3.3 Розробка конструктивних рішень .....   | 58 |
| 3.3.1. Фіксуючі пневматичні циліндри .....   | 59 |
| 3.3.2. Циліндри повздовжнього переміщення.....   | 61 |
| 3.3.3. Циліндри повороту .....   | 61 |
| 3.3.4. Поворотні дроселі .....   | 62 |
| 3.3.5. Шарнірні кріплення .....  | 64 |

|           |      |          |         |      |   |      |        |
|-----------|------|----------|---------|------|---|------|--------|
|           |      |          |         |      | <i>ДПО1.МА5110.00.000 ПЗ</i>  |      |        |
|           |      |          |         |      |   |      |        |
| Изм.      | Лист | № докум. | Подпись | Дата | <i>Мобільний пристрій для<br/>тестування газопроводу</i><br><br><i>Пояснювальна записка</i> |      |        |
| Разраб.   |      |          |         |      |   |      |        |
| Провер.   |      |          |         |      |   |      |        |
| Реценз.   |      |          |         |      |   |      |        |
| Н. Контр. |      |          |         |      |   |      |        |
| Затв      |      |          |         |      |   |      |        |
|           |      |          |         |      | Лист.   | Лист | Листов |
|           |      |          |         |      |   | 4    |        |
|           |      |          |         |      | <i>КПІ ім. Ігоря Сікорського</i>  |      |        |

|  |    |
|--|----|
| 3.3.6. Пристрої фіксації .....   | 64 |
| 3.3.7. Роликові башмаки .....  | 65 |
| РОЗДІЛ 4. СИСТЕМА КЕРУВАННЯ .....  | 66 |
| 4.1 Принцип роботи мобільного пристрою .....   | 66 |
| 4.1 Розробка системи керування мобільним пристроєм .....   | 67 |
| 4.2 Підбір елементів електропневматичної системи керування .....                                 | 69 |
| РОЗДІЛ 5. ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ .....   | 72 |
| 6.1 Технологічний розділ .....   | 72 |
| 6.1.1 Технологічний контроль якості кресленика .....   | 72 |
| 6.1.2 Аналіз службового призначення деталі та умов її роботи у вузлі.....                        | 73 |
| 6.1.3 Вибір способу виготовлення заготовки та його технічне обґрунтування .....                  | 75 |
| 6.2. Проектування маршрутного технологічного процесу .....                                       | 77 |
| 6.2.1. Вибір типового технологічного процесу .....   | 77 |
| 6.2.2 Розробка маршрутного технологічного процесу .....  | 78 |
| 6.3 Проектування змісту технологічних операцій.....  | 80 |
| РОЗДІЛ 6. ОХОРОНА ПРАЦІ .....  | 82 |
| 7.1 Загальна характеристика мікроклімату робочої зони під час роботи над дипломною роботою ..... | 82 |
| 7.2 Освітлення робочого приміщення.....  | 83 |
| 7.3 Електробезпека аудиторії.....  | 86 |
| 7.4 Пожежна безпека корпусу .....  | 87 |
| ВИСНОВОК.....  | 90 |
| СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....  | 91 |

## ВСТУП

На даному етапі технічного прогресу, транспортування газу є важливою складовою забезпечення промисловості та населення енергоносіями. За даними ПАТ «Укртрансгаз» протяжність газопроводів на території України складає понад 38000 км [1]. При чому, трубопроводи на деяких ділянках газових магістралей експлуатуються більше 50-ти років. Отже, для безпечного транспортування газу необхідно проводити періодичну перевірку стану газових магістралей.

В Україні ремонтно-технічним обслуговуванням діючих газопроводів займаються 5 управлінь магістральних газопроводів, які для своєчасного виявлення та усунення дефектів в газотранспортній системі та підвищення надійності транспортування газу проводять комплексне обстеження стану технологічного обладнання [1].

Під час проведення діагностики об'єктів газотранспортної системи використовуються два види діагностики візуальний та технічний.

Візуальна діагностика полягає в тому, що газова суміш або водяна пара нагнітаються так, щоб створити всередині газопроводу тиск, що перевищує робочий в 5разів. Після чого проводиться огляд та визначення ділянок, в яких відбувається виток пара [2].

Технічна діагностика полягає у використанні різноманітного новітнього обладнання або їх комплексу. Нині, основними методами технічної діагностики є магнітооптична дефектоскопія, ультразвукова діагностика, відео діагностика та внутрішньо трубна магнітна дефектоскопія.

За результатами обстежень відбувається ліквідація дефектів труб або заміна аварійно-небезпечних ділянок газотранспортної системи на нові.

Однак, не зважаючи на свою ефективність, більшість методів діагностики потребують припинення транспортування газу на ділянках, що підлягають перевірці. Окрім цього, перелічені методи, неможливо використовувати для перевірки газопроводів, що знаходяться під водою. А для

|     |     |          |       |      |  |                       |     |
|-----|-----|----------|-------|------|--|-----------------------|-----|
|     |     |          |       |      |  | ДП01.МА5110.00.000 ПЗ | Док |
| Зм. | Дж. | № докум. | Місце | Дата |  |                       | 66  |

Метою даного дипломного проекту є розробка приладу для технічної діагностики внутрішнього стану стінок газопроводів, який не потребуватиме відключення газопостачання під час своєї роботи та матиме змогу діагностувати важкодоступні ділянки без додаткових фінансових затрат та людських ресурсів.

|      |      |          |        |      |                       |     |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|-----|
|      |      |          |        |      | ДПО1.МА5110.00.000 ПЗ | Док |
|      |      |          |        |      |                       | 77  |
| Змн. | Док. | № докум. | Подпис | Дата |                       |     |



## РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ПАТЕНТІВ ТА РОЗРОБОК

## 1.1 Аналіз патентів

Використання пристроїв для моніторингу стану внутрішніх стінок газогону обумовлено небезпекою появи отворів, через які газ буде виходити назовні, що може призвести до вибуху. Розробками таких механізмів займаються в усіх країнах світу.

На рис. 1.1 зображено схему вимірювального приладу для трубопроводу яку в 1983 році було запропоновано British Gas Corporation. На відміну від інших розробок, рушійною силою даного механізму є тиск, що утворюється рідиною або газом, що протікає в трубопроводах. Його основною метою є перевірка прохідності трубопроводу та наявності перешкод. Однак даний пристрій має ряд недоліків. Найголовніший – це відсутність фіксації приладу, що може призвести до падіння конструкції у випадку його вертикального положення при падінні тиску на лінії. Також датчики наявності перешкод, які описані в патенті, працюють по принципу кнопки з фіксатором, тобто якщо даний прилад буде долати довгі дистанції, дізнатися де саме наявна перешкода, неможливо, потрібно буде використовувати інші прилади для наступної перевірки їх місцезнаходження, що є не доцільним. В документації вказано, що для розміщення необхідних інспекційних систем і електронного обладнання для запису даних не вмістяться на одному модулі, що зображено на рис. 1.1 необхідно буде встановлення і кріплення щонайменше ще одного такого ж модуля, що значно збільшуватиме повздовжні розміри приладу, а разом з тим і зручність його введення в газо- або трубопровід. У зв'язку з цим вимірювальний апарат винаходу може бути призначений для виконання першого завдання перевірки того, що трубопроводу не має вигинів, які мають радіус кривизни, який є меншим, ніж бажаний мінімум, і також може бути призначений для виконання другого завдання перевірки того, що тривимірний

геометрія трубопроводу дозволяє проходити інспекційній машині відомої конфігурації. Проте використовувати такий механізм як прилад для моніторингу – не доцільно [3].

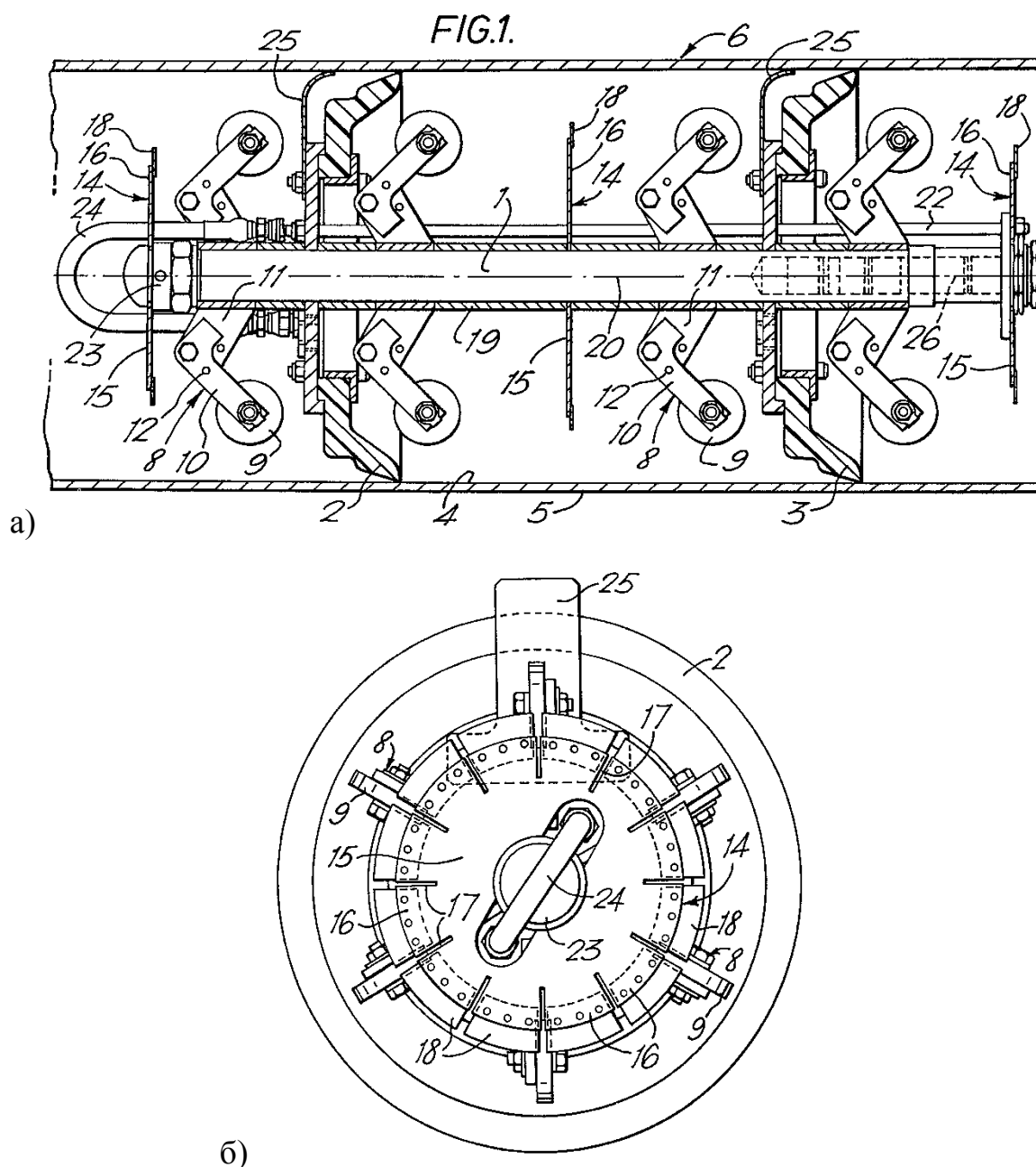


Рисунок 1.1 Схема вимірювального приладу для трубопроводу: а) вид спереду; б) вид зліва [3]

5 серпня 1969 року в США було зареєстровано патент US3460028A «Пристрій для перевірки трубопроводів із засобами для кореляції записаних

сигналів дефектів з кутовим положенням всередині трубопроводу, в якому вони були створені» (рис. 1.2) [4].

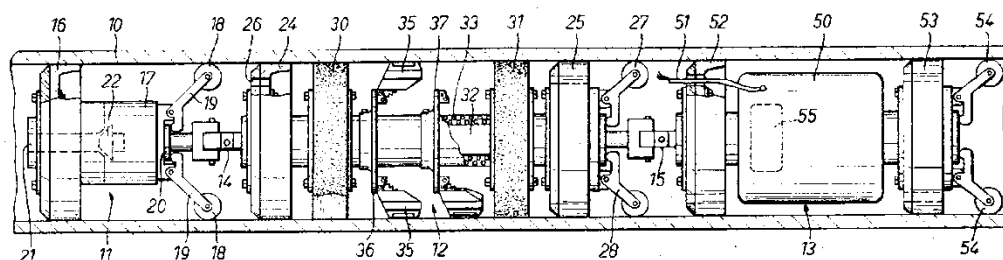


Рисунок 1.2 Схема пристрою для перевірки трубопроводів із засобами для кореляції записаних сигналів дефектів з кутовим положенням всередині трубопроводу, в якому вони були створені [4]

Основною особливістю даного винаходу є трубопровідний інспекційний апарат, який пристосований для сканування, по суті, всієї окружності внутрішнього простору трубопроводу, при якому кутова або оглядова позиція «pipeline pigs» виявляється і записується разом з інформацією про дефектоскопію. Таким чином, може бути вказана орієнтація дефектів, ям, корозійних шпонок, тощо. Іншою особливістю є забезпечення пристрою для отримання електричних сигналів, придатних для запису у відповідь на вертикальний кут корпусу, який використовується для цього пристрою [4].

Згідно з даним винаходом, в оглядовому апараті трубопроводу передбачений детектор орієнтації з метою отримання електричних сигналів, які можуть бути записані разом з сигналами дефектоскопії, що виробляються детекторами, що сканують окружність внутрішнього трубопроводу. Детектор орієнтації може використовувати ексцентричну вагу, акселерометр або лінійний диференціальний трансформатор, або подібне в якості механізму реагування на орієнтацію, і електричний сигнал виробляється поворотним потенціометром або перемикачем або ротаційним індуктивним зв'язуючим пристроєм. Отримані сигнали можуть бути окремо записані або можуть бути накладені на вибрані канали дефектоскопів для ідентифікації таких каналів [4].

Також слід зазначити, що детекторна «черевика» в «pipeline pigs», яка проходить поздовжньо над зварним швом, не зможе виявити невеликі розміри ям, виявлених рештою індикаторів, оскільки «черевик», що їде по шву, буде злегка зміщений від внутрішньої поверхні стінки трубопроводу. Слід зазначити, що як і в попередньому винаході відсутня можливість фіксація приладу, а враховуючи те, що рухається він від сили тиску газу в магістралі та його розміри, і відповідно можна допустити велику масу, його використання на вертикальних ділянках газогонів, особливо при русі вниз є не допустимим. Також, як видно на рис. 1.2 в оглядовому апараті наявний кабель 51, що не знаходяться в захисному коробі, тому наявна можливість його пошкодження, що може призвести до негативних наслідків, таких як припинення роботи індикаторів та муфт, або вибуху. Окрім цього, з рисунку видно, що сам прилад має великий повздовжній розмір, що призводить до складності його введення в газогон. Також його форма і розміри можуть викликати дуже великий перепад тисків до і після приладу [4].

Досить схожу конструкцію було зображено в патенті US3483466A (рис. 1.3). Цей пристрій містить засоби для створення кругового магнітного потоку в стінці трубопроводу, які разом з детекторами витоку потоку сканують внутрішню поверхню трубопроводу для виявлення витоку потоку з стінок трубопроводу за допомогою поздовжньо-орієнтованих дефектів, переважно корозійних тріщин у зовнішній частині трубопроводу. Окружний потік виробляється парою діаметрально розташованих електромагнітів, магніти є нормальними один до одного для забезпечення повного покриття трубопроводу, а детектори, такі як магнітометри або пошукові котушки, розташовані на кожній стороні магнітів для сканування всієї внутрішньої поверхні трубопроводу [5].

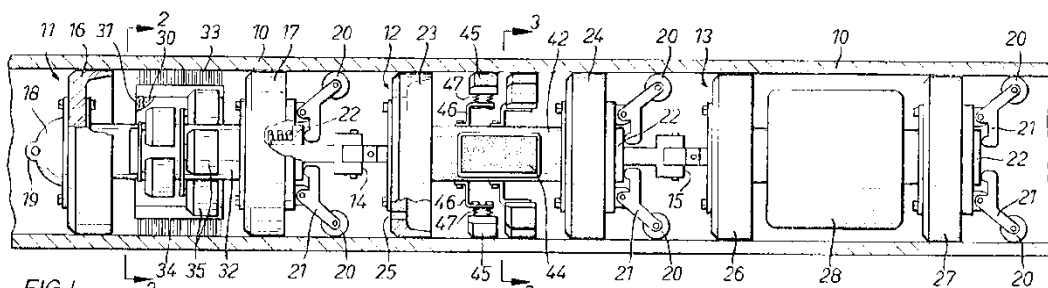


Рисунок 1.3 Апарат трубопровідного контролю для виявлення  
поздовжніх дефектів [5]

Для рухових цілей даного винаходу, секція 11 включає передню і задню гумові чашки 16 і 17, при цьому зовнішні периферії гумових пакувальників або чашки щільно притискаються до внутрішньої окружності стінки трубопроводу, так, що тиск рідини буде захоплюватися вниз або по правій стороні цих пакувальників. Це приводить у рух рушійну секцію, а отже і всю збірку, через трубопровід справа наліво разом з газом. Можуть бути передбачені клапанні байпасні порти, які дозволяють вибірково допускати подачу рідини в обхід водійських чашок, коли швидкість апарату є надмірною. Також, слід зазначити, що гумові пакувальники 26 і 27, на відміну від гумових чашок 16 і 17, функціонують як опори, а не як рушійні засоби.

Отже, на відміну від попередника, даний апарат використовує принципово відмінні індикатори для виявлення пошкоджень трубопроводу, а саме індикатори, які вказують на те, що є витoki, тобто цей пристрій виявляє вже існуючі наскрізні тріщини, а це означає, що використовувати пристрій для попередження їх утворення не є можливим. Однак, як і в пристрої для перевірки трубопроводів із засобами для кореляції записаних сигналів дефектів, пристрій рухається від сили тиску газу в магістралі, а його розміри і маса є значними. Тобто, використання такого апарату на вертикальних ділянках газогонів, є не допустимою, хоч в даній конструкції і існують байпасні порти, які знизять швидкість апарату до допустимої при її русі згори вниз, проте у випадку руху вгору і зменшення тиску в системі, велика ймовірність його падіння, що призведе до негативних наслідків. .

Досить відмінним від всіх інших запропонованих рішень є снаряд-дефектоскоп із стабілізацією швидкості руху (рис. 1.4). Метою запропонованого винаходу є забезпечення максимально можливого прохідного перетину і зниження лобового опору внутрішньо трубних інспекційних снарядів-дефектоскопів для досягнення стабілізації швидкості руху дефектоскопа в широкому діапазоні швидкостей перекачування газу. Поставлена мета досягається шляхом застосування прямооточного регулятора швидкості й генераторно-резистивної системи, як виконавчих елементів системи стабілізації швидкості [6].

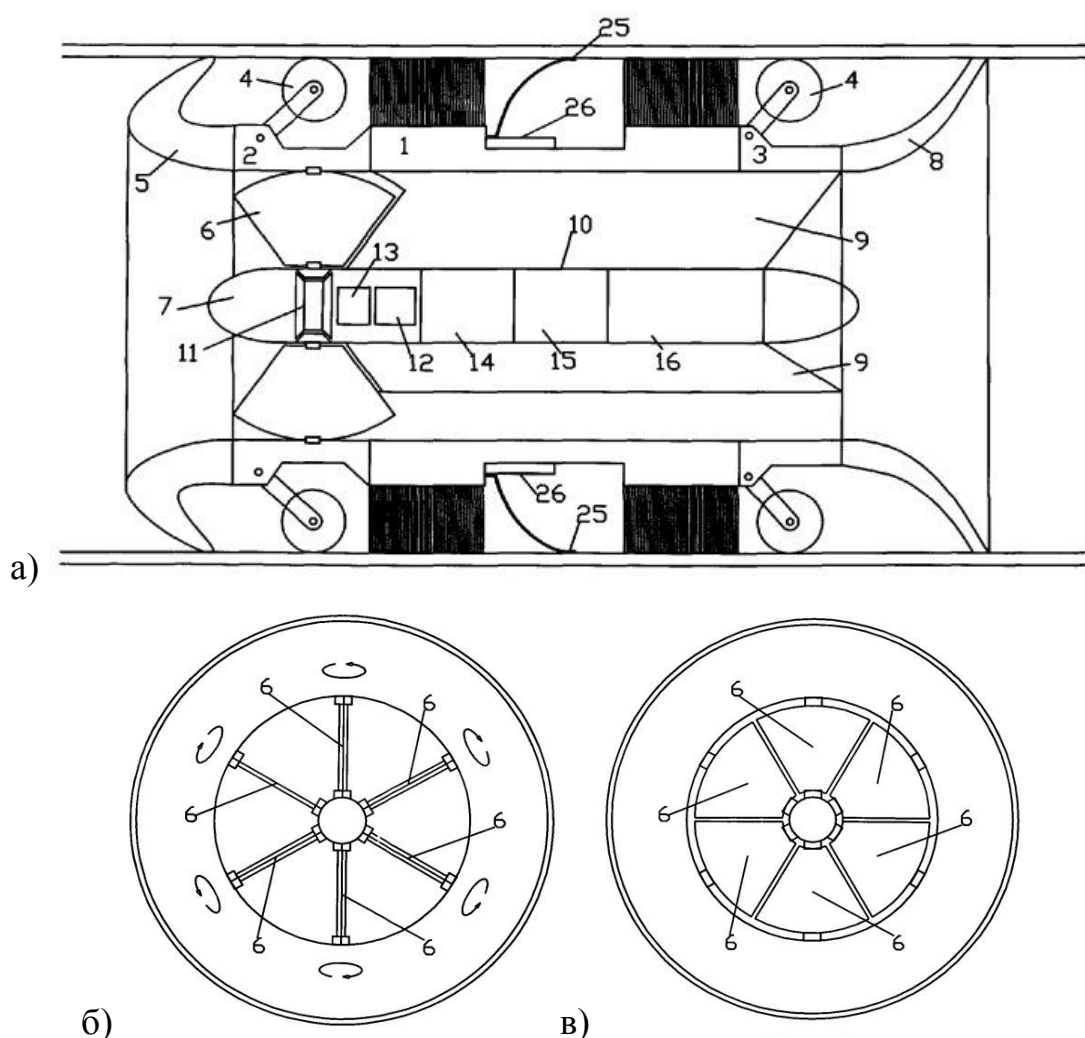


Рисунок 1.4 Схема конструкції снаряда-дефектоскопа: а) подовжній перетин; б) вид спереду (поворотні сектора у відкритому положенні); в) вид спереду (поворотні сектора в закритому положенні) [6]

Сутність запропонованого технічного рішення полягає в тому, що дефектоскоп-снаряд для внутрішньо трубного обстеження трубопроводів, переміщуваний потоком газу, містить передній і задній обтічники для зниження лобового опору дефектоскопа потоку газу і бортову електроніку з системою стабілізації швидкості руху дефектоскопа, що містить два регулюючих органи – пристрій перекриття внутрішнього отвору дефектоскопа-снаряда, виконаного у вигляді шести попарно зустрічно поворотних секторів, що утворюють в закритому стані диск, і гальмівною системою, що представляє собою колеса-генератори з регульовано активним навантаженням [6].

При цьому система збору та зберігання інформації складається з шести-восьми груп по 40-60 датчиків дефектів 25 розташованих в безпосередній близькості до кожної групи блоків АЦП 26, з'єднаних між собою і процесорним вузлом високошвидкісним послідовним каналом зв'язку [6].

Отже, хоч даний прилад своєю конструкцією принципово відрізняється від всіх вище розглянутих пристроїв, має ті ж самі недоліки.

Проаналізувавши дані пристрої було виявлено основний недолік – відсутність способу фіксування механізму. У випадку відключення газопостачання, а саме, якщо це відбудеться коли пристрій долатиме вертикальну частину газопроводу відбудеться його падіння вниз, що може призвести до негативних наслідків. Ще однією важливою проблемою є розгалуження газогонів. Вирішення цієї проблеми пропонується в винаходах, що працюють від електричного живлення, а саме, управління джойстиком. У випадку роботи механізму від протікаючого в газопроводі газу, вирішенням даної проблеми необхідно зайнятися більш детально, адже поки що, всі розглянуті механізми призначені для використання лише в нерозгалужених ділянках.

## 1.2 Сучасні розробки для інспекції внутрішнього стану труб

На виставці IREX 2015 в Японії компанією HiBot було представлено THESBOT – звивистий робот (модульний робот-змій) для інспекції трубопроводів діаметром від 3 дюймів [7].

Як видно з рис. 1.5 в конструкції THESBOT передбачено вихід головного кабеля з останнього модуля робота, який надійно закріплений до блоку управління оператора. Користувач отримує живе відео з першого модуля робота, яка обладнана LED-підсвіткою і відеокамерою, яка має можливість змінювати свій кут нахилу при необхідності. Також система обладнана системами управління швидкістю і напрямком робота [7].



Рисунок 1.5 THESBOT – модульний робот-змій від HiBot [7]

Колісна база робота також призначена для кріплення додаткових сенсорних модулів, які використовують магнітні поля, ультразвук або вихрові струми для перевірки товщини стінок труби і наявності тріщин [7].

Завдяки навісній сегментованій конструкції, THESBOT може рухатися через труби з поворотами і трійчастими розводки та підніматися вертикально і горизонтально, використовуючи для цього свої колеса. Залежно від траєкторії



руху, робот може набувати зигзагоподібної форми, так що лише деякі його колеса будуть контактувати зі стінками труби [7].

Наступником THESBOT є THESBot-Dual (рис. 1.6), який на відміну від свого попередника є більш досконалим. На відміну від свого попередника даний модульний робот окрім привабливішого вигляду має ще ряд переваг. Дана модель під час проходження шляху робить "картографування" для збору інформації, фактично він здатний робити сканування через шари матеріалів. А також забезпечує надійний метод вилучення робота з труби у випадку надзвичайної ситуації [8].



Рисунок 1.6 THESBot-Dual від HiBot [8]

Однак, не зважаючи на всі переваги THESBOT і THESBot-Dual мають два суттєвих недоліки. Одним із яких є необхідність відімкнення ділянки, що підлягає інспекції, від газопостачання, а іншою, як зазначено на офіційному сайті є обмеження відстані проходження в 100м. Тобто перевірка даними приладами труб, які розміщені в недосяжних місцях, довжиною більшою, ніж зазначена, являється неможливою.

### 1.3 Сучасні методи перевірки внутрішнього стану стінок газогонів

Сьогодні, для виявлення дефектів трубопроводів активно застосовується метод рентгенографії (гістеросальпінгографія ГСГ). Використовують рентген контроль для виявлення внутрішніх дефектів зварних швів і з'єднань в трубопроводах різного призначення. Радіографічний метод ґрунтується на властивості матеріалів в різному ступені поглинати рентгенівські промені. Залежить ступінь поглинання від атомного номера елемента, а також від щільності матеріалу. Якщо в трубопроводі присутні такі дефекти, як тріщини, пори, включення сторонніх матеріалів або шлаки, це призводить до ослаблення рентгенівських променів в тій чи іншій мірі. Здійснюючи рентгенконтроль можна визначити інтенсивність розташування неоднорідностей в матеріалі і зробити висновок про загальний внутрішній стан трубопроводу [9].

Рентгенографічні кроулери (рис. 1.7) – це автономні пристрої модульного типу, що являють собою компактний рентгенографічний апарат. Кроулери можуть пересуватися всередині трубопроводу, працюють без проводів, управління ними здійснюється дистанційним ізотопним пристроєм. Мінімальний діаметр трубопроводу, в якому може працювати найменший кроулер, становить 135 мм. Рентген труб можна проводити в підземних, наземних, підводних системах, так як проходить він із застосуванням дистанційного управління. Кроулер запрограмований на виконання декількох команд він може знімати рентгенограми, зупинятися і переміщуватися [9].



Рисунок 1.7 Кроулер JME 24 [9]

Принцип роботи даного обладнання такий же, як у всіх рентгенівських апаратів, заснований він на властивості рентгенівського випромінювання, яке представляє собою електромагнітні хвилі, що мають енергію фотонів. Цю енергію кроулери використовують для знаходження дефектів внутрішньої поверхні трубопроводу. На рентгенографічну трубку даного пристрою подається напруга понад 300 кіловольт. Рух обладнання здійснюється на електротязі. Завдяки модульній конструкції кроулер, можна при необхідності розбирати обладнання та встановлювати модулі з іншими параметрами. При рентгені труб, кроулер може зробити один панорамний знімок всередині труби, який дасть повну картину внутрішнього стану трубопроводу в місці дослідження. Широка популярність кроулерів в проведенні рентгенографічною дефектоскопії обумовлена їх високою точністю і оперативністю, виконуваної ними роботи, а також можливість застосування в будь-яких магістральних трубопроводах, навіть розміщених в морських глибинах [9].

Недоліком всіх кроулерів можна назвати чималу вагу, великі габарити та відсутність можливості вертикального переміщення апаратів. Це не дає можливості контролювати стан труб малих діаметрів та вертикальні ділянки трубопроводу.

Іншим методом, для виявлення дефектів трубопроводів, яким користуються сьогодні є відео інспекція. Система відео інспекції – це набір

інструментів, які призначені для знаходження та діагностики несправностей в трубопроводах [10].

Більшість таких систем (рис. 1.8) складається з модуля відеокамери, кабелю, барабану для намотування кабелю, дисплею, клавіатури дистанційного керування, бездротової клавіатури для введення тексту, показчика глибини занурення кабелю, рамного каркасу. Вони є простими і зручними у використанні [10].

Однак, дана система передбачає відімкнення ділянки, що підлягає інспекції, від газопостачання. Також, зважаючи на те, що робочим органом є шланг, просувати відеокамеру вертикально вгору – не зручно.



Рисунок 1.8 Система відео інспекції труб від Hunter [10]

#### 1.4 Визначення конструктивних особливостей модульного пристрою для перевірки внутрішнього стану стінок газогону

Отже, основним завданням є спроба усунення всіх вищеперерахованих недоліків та дослідження внутрішнього стану труб під час роботи систем

газопостачання. Проаналізувавши існуючі патенти, робочі пристрої для аналізу внутрішнього стану стінок газогону та середовище, де працюватиме мобільний пристрій, визначили його конструктивні особливості, а саме [11]:

- 1) вибухозахисне виконання, так як газ є вибухонебезпечною речовиною і від найменшої іскри спалахне;
- 2) можливість повороту в трьох площинах, для подолання поворотів;
- 3) можливість встановлення траєкторії руху;
- 4) живлення механізму має відбуватися безпосередньо в трубопроводі, так як ділянку, що перевірятиметься не будуть відключати від робочої системи газопостачання, відповідно виходу для зарядки елементу живлення не буде, з огляду на небезпеку для суспільства;
- 5) пристосування для подолання руху вертикально вгору та вертикально вниз;
- 6) механізм руху, який зможе подолати перешкоди у вигляді ям та горбів, спричинених пошкодженням труб;
- 7) має не залежати від діаметру труб, або працювати в певному їх діапазоні, внаслідок наявності в системі труб різного діаметру та деформацій, що спричинили зміну форми труб (овальність, сплюснення);
- 8) наявність елементу для спостереження за внутрішнім станом труб;
- 9) можливість дистанційного керування для забезпечення руху по певній траєкторії.

## РОЗДІЛ 2. ОБҐРУНТУВАННЯ ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ З УРАХУВАННЯМ УМОВ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

Згідно з умовами технічного завдання було необхідно розробити експериментальний зразок робота для внутрішньої діагностики газових мереж.

Враховуючи, що газотранспортна система має такі перешкоди як розгалуження, закруглення та повороти, необхідно, щоб пристрій міг їх подолати. Згідно завдання кут поворотів труби не перевищує  $\angle 15^\circ$ , а радіус закруглення не менше R1000. Також було вказано, що перетин робота не повинен зменшувати перетин газопроводу більш ніж на 50%. Оскільки механізм повинен бути обладнаний пристроями для перевірки внутрішнього стану стінок газогону, його повздовжній розмір буде перевищувати допустимий розмір для подолання поворотів.

Відповідно, було прийнято рішення щодо створення модульного пристрою, що буде складатися як мінімум з трьох секцій, які будуть з'єднуватися шарнірно.

Дане конструкційне рішення вирішує проблему, що пов'язана з повздовжнім розміром експериментального зразка. Так як розміри секцій не перевищуватимуть максимально допустимий розмір для подолання зазначених поворотів та закруглень. А оскільки секції будуть з'єднані між собою шарнірно, а не жорстко, то пристрій зможе набувати зигзагоподібної форми, що дозволить йому долати всі вище зазначені перешкоди, при значній загальній довжині.

Згідно з умовами технічного завдання розроблюваний пристрій повинен працювати в середовищі природного газу середнього тиску зі швидкістю потоку до 15 м/с. Виходячи з даних умов було вирішено, що рух експериментального зразка буде забезпечуватися пневматичним приводом, який буде приводитися в дію за допомогою енергії газу, що транспортується газопроводом.

Для забезпечення повздовжнього руху пристрою було обрано одноштокові пневмоциліндри двосторонньої дії, які будуть шарнірно кріпитися між секціями, забезпечуючи не лише можливість повздовжнього руху, але й подолання поворотів та закруглень. Попередньо обумовлено, що спочатку перший циліндр висувається і пересуває третю секцію. Після чого одночасно висувається другий циліндр і втягується перший, таким чином підтягуючи другу секцію до третьої. І останнім етапом є втягування другого циліндру, що супроводжуватиметься переміщенням першої секції до другої. За таким циклом і відбуватиметься рух експериментального зразка (рис. 2.1).

Проте, зважаючи на технічне завдання (розроблюваний зразок повинен мати можливість здійснювати рух горизонтально та вертикально вниз або вгору) та оговорений спосіб пересування пристрою, необхідно забезпечити почерговою фіксацією секцій для забезпечення надійності та можливості руху роботизованого механізму. З огляду на розроблений цикл руху пневмоциліндрів, що забезпечуватимуть повздовжній рух пристрою, було прийнято рішення щодо фіксації секцій, які не підлягатимуть переміщенню під час роботи даних пневмодвигунів. Тобто, під час висування першого циліндру фіксуються друга і перша секції, під час висування другого і втягування першого циліндрів фіксуються перша і третя секції, а під час втягування другого циліндру фіксуються друга і третя секції. Одночасно було ухвалено, що функцію фіксації (затискних пристроїв) будуть виконувати одноштокові пневмоциліндри двосторонньої дії, які кріпитимуться до кожної з секцій. Передбачено, що до штоків даних циліндрів буде приєднаний шарнір з обмеженим кутом повороту, на якому буде розміщуватися гумова подушка, що допоможе пристроям щільно притискатися до стінок газопроводу, фіксуючи експериментальний зразок. Окрім цього, шарнір зможе забезпечити фіксацію, якщо секція зафіксується на повороті.

Вибір виконавчих пристроїв, що виконуватимуть функцію затискних пристроїв, обґрунтовано середовищем, в якому працюватиме

експериментальний зразок, технікою безпеки та характером виконуваних робіт. Оскільки живленням пневмоциліндрів даного пристрою є газ, який транспортується газопроводом, то є можливість падіння тиску газу в системі. Тому, при спрацюванні пневмоциліндрів односторонньої дії, це призведе, до вимикання фіксацій секцій. В такому випадку є можливість зрушення пристрою потоком газу. Наслідком такого руху може бути зіткнення даного пристрою та газогону, припинення роботи пристрою. Тому, для уникнення даних ситуацій, виконавчими пристроями було обрано пневмоциліндри двохсторонньої дії.

Після вибору виконавчих пристроїв постало питання щодо забезпечення роботи циліндрів, адже для їх функціонування необхідна наявність перепаду тисків. Враховуючи особливості, зміну тиску запропоновано отримати завдяки змінному і керованому аеродинамічному опору, який виникатиме на елементах секцій пристрою. Прийнято рішення щодо створення секцій, що матимуть змогу змінювати аеродинамічний опір на пристрої. Для цього, було вирішено, що секції матимуть вигляд двох пов'язаних між собою елементів з секторними вікнами. При чому, один із елементів забезпечуватиме поворот на певний кут, внаслідок чого буде відбуватися перекриття секторних вікон. Результатом закриття секторних вікон буде зменшення поперечного перерізу труби. Як відомо, при звуженні ділянки, тиск зменшується. Отже, в розроблюваному пристрої, необхідний перепад тиску буде залежати від кута, повороту рухомого елемента (регульованого дроселя) секції відносно жорстко закріпленого елемента (величини перекриття секторних вікон).

Для забезпечення повороту регульованого дроселя необхідно використати привід поворотного типу. На початковому етапі прийнято рішення щодо використання пластинчастого поворотного двигуна, максимальний кут повороту якого буде забезпечувати повне перекриття секторних вікон. Він буде з'єднаний з рухомим елементом секції з однієї сторони, а з іншої сторони до нього, за допомогою шарнірного з'єднання, буде кріпитися пневмоциліндр, що забезпечує повздовжній рух. В подальшому можлива заміна поворотного



пневмоциліндру на пневмоциліндр зворотно-поступальної дії з допоміжною конструкцією для забезпечення повороту регульованого дроселя.

Також, необхідно забезпечити здатність пересування робота по трубах, що мають зміни діаметра і форми (вм'ятини, овальність, сплюснення) та в яких можуть бути наявні корозійні виїмки або виступи, тріщини чи отвори. Було прийнято рішення про встановлення роликів башмаків на пружинах. Таким чином, за допомогою пружини, пристрій буде притискатися до стінок труби і рухатися далі не зважаючи на незначні зміни її діаметру або форми. Наявність роликів башмаків забезпечить можливість подолання незначних отворів (розмір отворів, що може подолати пристрій, буде залежати від відстані між колесами башмаків).

Керування вище перерахованими пневмоциліндрами буде відбуватися за допомогою встановленого контролера. Перевірка внутрішнього стану стінок газопроводу буде відбуватися за допомогою камери. Дані елементи буде розміщено на першій секції.

Після затвердження основних конструктивних особливостей створюваного модульного мобільного пристрою для перевірки внутрішнього стану стінок газопроводів було створено схему модульного пристрою (рис. 2.1). Модульний мобільний пристрій складається з трьох секцій, що з'єднані між собою за допомогою одноштокових пневмоциліндрів 1 (які визначають мінімальну та максимальну довжини пристрою), що мають шарнірне кріплення 2. Кожна секція складається з регульованого дроселя 3, опір якого, згідно з розрахунками, відповідає зменшенню площі прохідного перерізу в два рази та секторних вікон 5. Також, кожна секція має пневматичний циліндр поворотного типу 4, пневматичні пристрої для фіксації 6, роликові платформи (башмаки) 7, що забезпечують рух секцій вздовж стінок. Також, до першої секції входять пристрої 8, які призначені для перевірки стану поверхні трубопроводу, електричний блок живлення 9 та програмований контролер 10. Пневматичні фіксуючі пристрої, які розміщені в кожній секції, складаються з п'яти

одноштокових пневмоциліндрів двосторонньої дії 11, та притискних башмаків 12, що встановлено шарнірно. Від фіксуючого пристрою, з обох боків, розташовано роликові платформи, які шарнірно кріпляться та за допомогою пружних елементів 13 притискаються до стінок газопроводу [11].

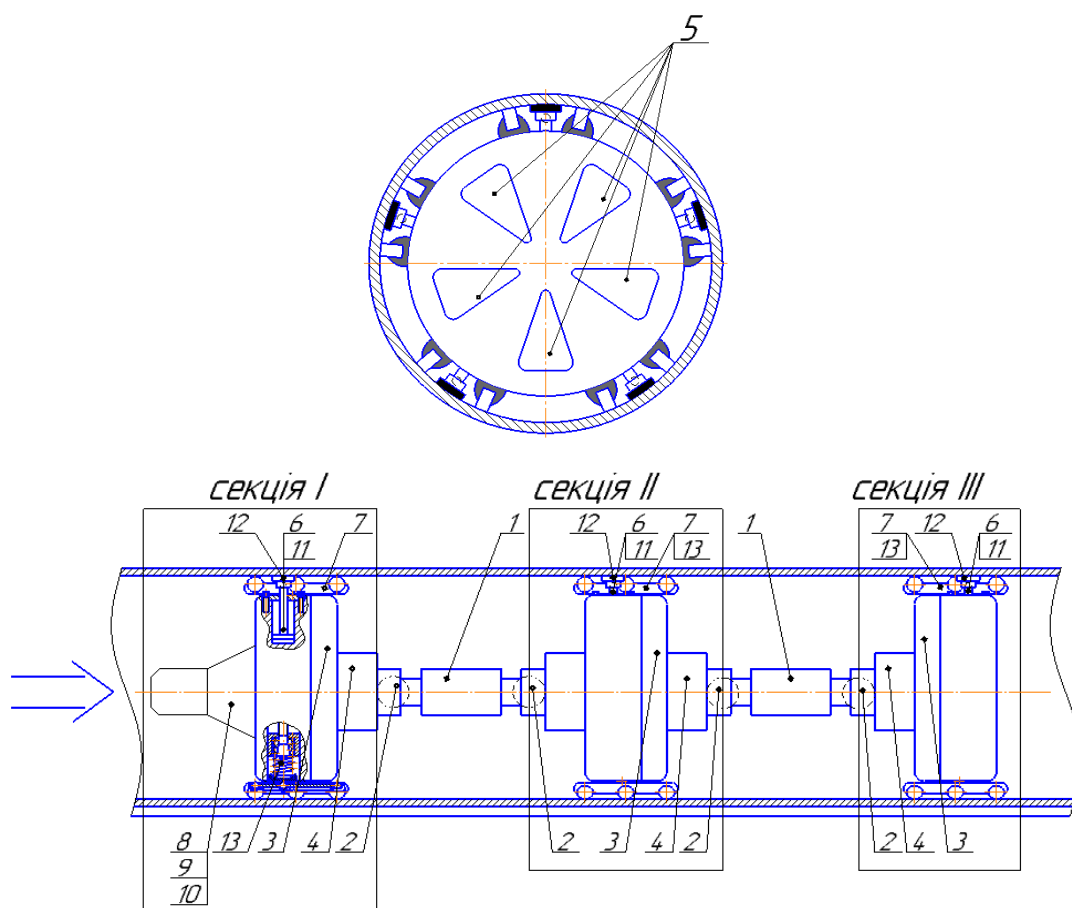


Рисунок 2.1 Принципова схема мобільного пристрою [11]

## РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ ВИКОНАВЧИХ ПРИСТРОЇВ ТА ЇХ ЕЛЕМЕНТІВ

На даному етапі роботи, для подальшого вирішення поставленої задачі, необхідно провести статичні та динамічні розрахунки пневмоприводу.

### 3.1. Статичний розрахунок

Було виконано статичний розрахунок для знаходження конструктивних розмірів двох силових виконуючих пристроїв.

#### 3.1.1 Статичний розрахунок затискних пристроїв

Пневмоциліндри які виконують функцію затискних пристроїв розвивають технологічне зусилля лише в кінці робочого ходу. Розрахунок їх діаметрів відбувається за формулою (1)[12]:

$$D_f = 1,13 \sqrt{\frac{P_2 \pm mg}{0,9 \cdot p_m - p_a}} \quad (1)$$

$$D_f = 1,13 \sqrt{\frac{P_2 \pm mg}{0,9 \cdot p_m - p_a}} = 1,13 \sqrt{\frac{14,3 + 0,5}{0,9 \cdot 303975 - 151987,5}} = 0,0123 \text{ м.}$$

Згідно стандартного ряду [13]:

$$D_f = 0,012 \text{ м} = 12 \text{ мм}, \text{ тоді}$$

$$d_f = 0,32 \cdot D_f = 0,32 \cdot 12 \text{ мм} = 3,84 \text{ мм.}$$

Згідно з нормованим рядом діаметрів [13]:  $d_f = 4 \text{ мм}$ .

Умовний прохід приєднувальних отворів розраховуємо за формулою (2) [12]:

$$d_y \cong D \sqrt{\frac{s}{w_{cep} t_{оч}}} \quad (2)$$

де  $D$  – діаметр поршня;

$s$  – хід штока;

$w_{сеп}=15 м / с$  – середня швидкість потоку газу в газопроводі;

$t_{оч}$  – час спрацювання пневмоциліндру, що очікується.

$$d_{yf} \cong D \sqrt{\frac{s}{w_{сеп} t_{оч}}} = 0,012 \sqrt{\frac{0,05}{15 \cdot 0,6}} = 0,0008944 м.$$

Згідно стандартного ряду [13]:

$$d_{yf} = 0,002 м = 2 мм.$$

### 3.1.2 Статичний розрахунок пристроїв повздовжнього переміщення

У пневмоциліндрів, що забезпечують повздовжній рух, отже, технологічне навантаження в них прикладене по всій довжині ходу, а діаметр циліндру знаходиться за формулою (3) [12]:

$$D_p = 1,13 \sqrt{\frac{P_2 \pm mg}{p_m \cdot \chi_p (1 \pm k_T)}} \quad (3)$$

$$D_p = 1,13 \sqrt{\frac{P_2 \pm mg}{p_m \cdot \chi_p (1 \pm k_T)}} = 1,13 \sqrt{\frac{17,88 + 1,4}{303975 \cdot 0,6 (1 - 0,1)}} = 0,0122 м.$$

Отже, маємо:

$$D_p = 0,016 м = 16 мм, \text{ тоді:}$$

$$d_p = 0,32 \cdot D_p = 0,32 \cdot 16 мм = 5,12 мм.$$

Згідно з нормованим рядом діаметрів [13]  $d_p = 6 мм$ .

$$d_{yp} \cong D_p \sqrt{\frac{s}{w_{сеп} t_{оч}}} = 0,016 \sqrt{\frac{0,005}{15 \cdot 0,6}} = 0,0003771 м.$$

Згідно стандартного ряду [13]:

$$d_{yp} = 0,002 м = 2 мм.$$

### 3.1.3 Статичний розрахунок пристроїв повороту

Під час розробки, було вирішено, що поворот дросельної заслінки будуть виконувати пневмоциліндри зворотно-поступальної дії. Отже, їх розрахунок, як і розрахунок пристроїв, що забезпечують повздовжній рух, буде виконуватися за формулою (3) [12]:

$$D_o = 1,13 \sqrt{\frac{P_2 \pm mg}{p_m \cdot \chi_p (1 \pm k_T)}} = 1,13 \sqrt{\frac{10 + 1,4}{303975 \cdot 0,6 (1 - 0,12)}} = 0,0095 \text{ м.}$$

Отже, маємо:

$$D_o = 0,012 \text{ м} = 12 \text{ мм}, \text{ тоді:}$$

$$d_o = 0,32 \cdot D_o = 0,32 \cdot 12 \text{ мм} = 3,84 \text{ мм.}$$

Згідно з нормованим рядом діаметрів [13]  $d_p = 4 \text{ мм}$ .

$$d_{yp} \cong D_p \sqrt{\frac{s}{w_{cep} t_{оч}}} = 0,012 \sqrt{\frac{0,01}{15 \cdot 0,6}} = 0,0004 \text{ м.}$$

Згідно стандартного ряду [13]:

$$d_{yp} = 0,002 \text{ м} = 2 \text{ мм.}$$

## 3.2. Динамічний розрахунок

Динамічний розрахунок призначений для знаходження часу спрацювання пневмоциліндра, закону прямовання рухомих елементів приводу, діючих швидкостей та прискорень, характеру зміни тиску в порожнинах пневмодвигуна [14].

### 3.2.1. Динамічний розрахунок фіксуючих пневматичних пристроїв

Розрахункова схема фіксуючого приводу вказана на рис. 3.1. Основним елементом даної схеми є пневмоциліндр двосторонньої дії поршневого типу. На схемі пневмоциліндр зображений в момент руху вниз. Положення поршня знаходиться за допомогою поточної координати  $x$ , що рахується від умовного

нуля. В початковому положенні поршня  $x=0$ , але між поршнем і кришкою існує шкідливий об'єм. Також, на розрахунковій схемі показана координата  $x_0$ , яка характеризує мінімальний розрахунковий об'єм робочої порожнини циліндру. Фактичний мінімальний об'єм робочої порожнини рівний сумі шкідливого об'єму та об'єму трубопроводу. При розрахунку потрібно врахувати неоднорідність умов наповнення порожнини та трубопроводу. Це означає, що фактичний об'єм трубопроводу необхідно замінити його розрахунковим значенням. Координата  $x_0$  розраховується за формулою (4) [12]:

$$x_0 = \frac{V_{p\min}}{F} = \frac{V_0 + V_{pm}}{F} \quad (4)$$

де  $V_{p\min}$  – мінімальний розрахунковий об'єм робочої порожнини;

$F$  – площа поршня з боку робочої порожнини;

$V_0$  – шкідливий об'єм циліндру;

$V_{pm}$  – розрахунковий (приведений) об'єм трубопроводу.

$$F = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,012^2}{4} = 0,000113 \text{ м}^2;$$

$$V_0 = 0,01 \cdot F \cdot s = 0,01 \cdot 0,000113 \cdot 0,005 = 56,52 \cdot 10^{-10} \text{ м}^3;$$

$$V_{PT} = 0,87 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3;$$

$$x_0 = \frac{V_{p\min}}{F} = \frac{V_0 + V_{pm}}{F} = \frac{56,52 \cdot 10^{-10} + 0,87 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3}{113 \cdot 10^{-6}} = 7,75 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Так само знаходиться координата  $x_{0\epsilon}$ , що характеризує мінімальний розрахунковий об'єм порожнини вихлопу [12]:

$$F_v = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} = \frac{3,14 \cdot (0,012^2 - 0,004^2)}{4} = 0,0001 \text{ м}^2;$$

$$V_{0v} = 0,01 \cdot F_v \cdot s = 0,01 \cdot 0,0001 \cdot 0,005 = 50,24 \cdot 10^{-10} \text{ м}^3;$$

$$V_{PTv} = 1,047 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3;$$

$$x_{0e} = \frac{V_{p \min v}}{F_v} = \frac{V_{0v} + V_{PTv}}{F_v} = \frac{50,24 \cdot 10^{-10} + 1,047 \cdot 10^{-6}}{100 \cdot 10^{-6}} = 10,05 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

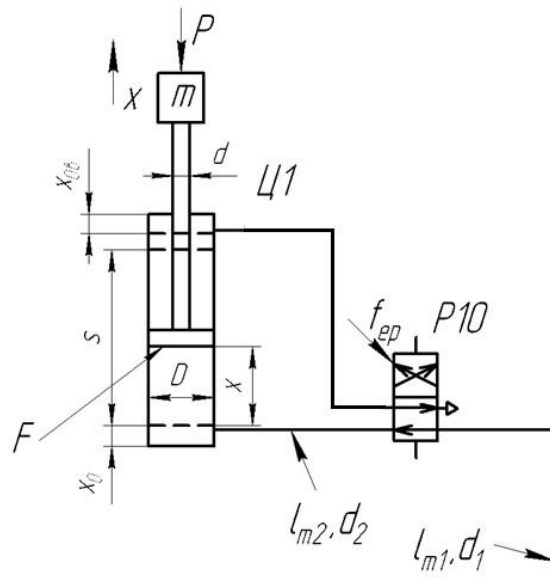


Рисунок 3.1 Розрахункова схема фіксуючого приводу [15]

### 3.2.1.1 Знаходження пропускної здатності пневмоліній

#### 3.2.1.1.1 Знаходження пропускної здатності напірної пневмолінії

Пневмолінія розроблюваного механізму складається з двох послідовно з'єднаних між собою розподільником частин трубопроводу, отже, ефективна площа перетину представлена приведеною величиною (рис. 3.1) [14].

При послідовному з'єднанні елементів та ділянок напірної пневмолінії маємо (5) [12]:

$$\frac{1}{fe^2} = \frac{1}{fe_R^2} + \frac{1}{fe_{L1}^2} + \frac{1}{fe_{L2}^2} \quad (5)$$

Значення пропускної здатності для розподільника Festo VUVG-B18-B52-ZT-F-1P3  $K_v = 60 \text{ м}^3 / \text{год}$  [12].

Ефективну площу розподільника знаходимо за формулою (6) [12]:

$$fe = \frac{K_v}{5 \cdot 10^4} \quad (6)$$

$$fe_R = \frac{K_V}{5 \cdot 10^4} = \frac{60}{5 \cdot 10^4} = 0,0012 \text{ м}^2.$$

Знаходимо  $fe_{L1}$ , для цього знайдемо коефіцієнт сумарних витрат  $\xi_1$  за формулою (7) [12]:

$$\xi = \frac{\lambda \cdot l_L}{2 \cdot d} \quad (7)$$

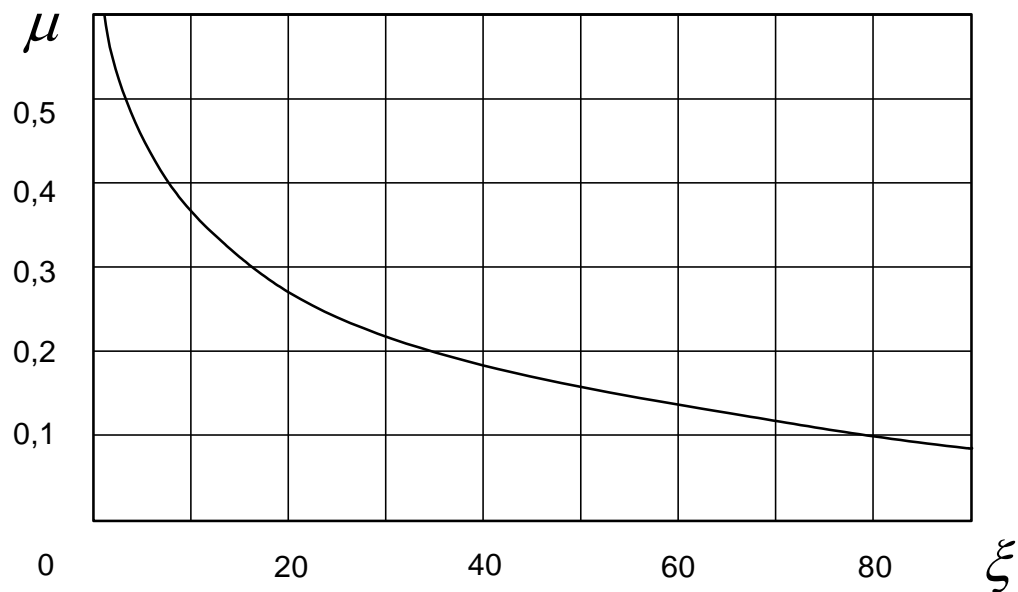


Рисунок 3.2 Графік залежності  $\mu=f(\xi)$  [14]

$$\xi_1 = \frac{\lambda \cdot l_{L1}}{2 \cdot d_{L1}} = \frac{0,03 \cdot 0,15}{2 \cdot 0,002} = 1,125,$$

де  $\lambda = 0,03$  – коефіцієнт тертя для повітря;

$d = 0,002 \text{ м}$  – діаметр трубопроводу;

$l_{L1} = 0,15 \text{ м}$  – довжина першої ділянки трубопроводу.

За величиною  $\xi_1$ , використовуючи графік  $\mu = f(\xi)$  (рис. 3.2), знаходимо величину  $\mu_1 = 0,58$  [12].

Потім розраховуємо ефективну площу (8) [12]:



$$fe_L = \mu \cdot f_L \quad (8)$$

де  $f_L$  – площа перетину трубопроводу (9).

$$f_L = \frac{\pi \cdot d_L^2}{4} \quad (9)$$

$$f_{L1} = \frac{\pi \cdot d_{L1}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,002^2}{4} = 3,14 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

Підставимо значення:

$$fe_{L1} = \mu_1 \cdot f_{L1} = 0,58 \cdot 3,14 \cdot 10^{-6} = 1,82 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

Аналогічно проводимо розрахунок і для  $fe_{L2}$  [12]:

$$\xi_2 = \frac{\lambda \cdot l_{L2}}{2 \cdot d} = \frac{0,03 \cdot 0,2}{2 \cdot 0,002} = 1,5.$$

де  $\lambda = 0,03$  – коефіцієнт тертя для повітря;

$d = 0,002 \text{ м}$  – діаметр трубопроводу;

$l_{L2} = 0,2 \text{ м}$  – довжина другої ділянки трубопроводу.

За величиною  $\xi_2$ , використовуючи графік  $\mu = f(\xi)$  (рис. 3.2), знаходимо величину  $\mu_2 = 0,56$  [12].

$$f_{L2} = \frac{\pi \cdot d_{L2}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,002^2}{4} = 3,14 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2;$$

$$fe_{L2} = \mu_2 \cdot f_{L2} = 0,56 \cdot 3,14 \cdot 10^{-6} = 1,76 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

Підставимо отримані значення в формулу (5), отримаємо [12]:

$$\frac{1}{fe^2} = \frac{1}{(0,0012)^2} + \frac{1}{(1,82 \cdot 10^{-6})^2} + \frac{1}{(1,76 \cdot 10^{-6})^2};$$

$$fe = 1,26 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

#### 3.2.1.1.2 Знаходження пропускної здатності пневмолінії вихлопу

Так як пневмолінія нашої схеми складається з двох частин трубопроводу, що зв'язують між собою елементи пневмоапаратури, на яких будемо визначати пропускну здатність пневмолінії вихлопу, то ефективна площа перетину являє собою приведену величину (рис. 3.1) [14].

При послідовному з'єднанні елементів та ділянок пневмолінії вихлопу маємо (10) [12]:

$$\frac{1}{f_{ev}^2} = \frac{1}{f_{ev_{L2}}^2} + \frac{1}{f_{ev_R}^2} \quad (10)$$

Значення пропускну здатності: для розподільника Festo VUVG-B18-B52-ZT-F-1P3  $Kv_R = 60 \text{ м}^3 / \text{год}$  [12].

$$f_{ev_R} = \frac{Kv_R}{5 \cdot 10^4} = \frac{60}{5 \cdot 10^4} = 0,0012 \text{ м}^2.$$

Знайдемо  $f_{ev_{L2}}$ , для цього знайдемо коефіцієнт сумарних витрат  $\xi_2$  по формулі (11) [12]:

$$\xi_2 = \frac{\lambda}{2} \cdot \frac{l_{L2}}{d} \quad (11)$$

де  $\lambda = 0,03$  – коефіцієнт тертя для повітря;

$d = 0,002 \text{ м}$  – діаметр трубопроводу;

$l_{L2} = 0,2 \text{ м}$  – довжина першої ділянки трубопроводу.

$$\xi_2 = \frac{0,03}{2} \cdot \frac{0,2}{0,002} = 1,5.$$

За величиною  $\xi_{v_2}$ , використовуючи графік  $\mu = f(\xi)$  (рис. 3.2), знаходимо величину  $\mu_{v_2} = 0,56$  [12].

Потім розраховуємо ефективну площу [12]:

$$f_{v_{L2}} = \frac{\pi \cdot d_{v_{L2}}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,002^2}{4} = 3,14 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2;$$

$$f_{ev_{L2}} = \mu_2 \cdot f_{v_{L2}} = 0,56 \cdot 3,14 \cdot 10^{-6} = 1,76 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

Підставимо отримані значення в формулу (10), отримаємо [12]:

$$\frac{1}{f_{ev}^2} = \frac{1}{0,0012} + \frac{1}{1,76 \cdot 10^{-6}};$$

$$f_{ev} = 1,76 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

3.2.1.2 Врахування об'ємів трубопроводів при динамічному розрахунку

3.2.1.2.1 Врахування об'ємів трубопроводів при динамічному розрахунку напірної пневмолінії [12]

Розроблено метод врахування розподіленого об'єму трубопровода шляхом його приведення до зосередженого об'єму. Розрахунковий (приведений) об'єм визначається з виразу (12) [12]:

$$V_{PT} = k_v \cdot V_T \quad (12)$$

де  $V_T$  – фактичний об'єм трубопровода;

$$V_T = \frac{\pi \cdot d_L^2}{4} l_{L2} = \frac{3,14 \cdot 0,002^2}{4} \cdot 0,2 = 0,628 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3,$$

$k_v$  – коефіцієнт приведення розподіленого об'єму до зосередженого [12].

Коефіцієнт  $k_v$  знаходиться по формулі (13) [12]:

$$k_v = \frac{fe}{fe'} \quad (13)$$

де  $fe$  – ефективна площа перерізу пневмолінії;

$fe'$  – ефективна площа перерізу тієї ж пневмолінії, але знайдена з урахуванням половини гідравлічного опору ділянки трубопроводу, для якого визначається розрахунковий об'єм.

Знайдемо ефективну площу на ділянці  $l_{L2}$ , за формулою (14) [12]:

$$fe'_{L2} = \mu_2 \cdot f'_{L2} \quad (14)$$

Знайдемо для половини ділянки  $l_{L2}$  значення  $\xi'_2$  [12]:

$$\xi'_2 = \frac{\lambda \cdot \frac{1}{2} \cdot l_{L2}}{2 \cdot d} = \frac{0,03 \cdot \frac{1}{2} \cdot 0,2}{2 \cdot 0,002} = 0,75.$$

За величиною  $\xi'_2$  використовуючи графік  $\mu = f(\xi)$  (рис. 3.2), знаходимо величину  $\mu'_2 = 0,6$  [12].

Підставимо знайдені значення в (14) та отримаємо [12]:

$$fe'_{L2} = \mu'_2 \cdot fe_{L2} = 0,6 \cdot 1,76 \cdot 10^{-6} = 1,055 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

Щоб знайти  $fe'$  скористаємось формулою (15) [12]:

$$\frac{1}{fe'^2} = \frac{1}{fe_R^2} + \frac{1}{fe_{L1}^2} + \frac{1}{fe_{L2}'^2}, \quad (15)$$

$$fe' = 0,91 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

Знайдені значення підставимо в (13) [12]:

$$k_v = \frac{fe}{fe'} = \frac{1,76 \cdot 10^{-6}}{0,91 \cdot 10^{-6}} = 1,39.$$

Далі підставимо  $k_v$  у формулу (11) і знайдемо  $V_{PT}$  [12]:

$$V_{PT} = k_v \cdot V_T = 1,39 \cdot 0,628 \cdot 10^{-6} = 0,87 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

3.2.1.2.2 Врахування об'ємів трубопроводів при динамічному розрахунку пневмолінії вихлопу [12]

Розрахунковий об'єм лінії вихлопу визначимо з виразу (16) [12]:

$$V_{PTv} = kv_v \cdot V_{Tv} \quad (16)$$

де  $V_{Tv}$  – фактичний об'єм трубопровода.

$$V_{Tv} = \frac{\pi \cdot d_L^2}{4} l_{L2} = \frac{3,14 \cdot 0,002^2}{4} \cdot 0,2 = 0,628 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

$kv_v$  – коефіцієнт приведення розподіленого об'єму до зосередженого [12].

Коефіцієнт  $kv_v$  знаходиться по формулі (17) [12]:

$$kv_v = \frac{f_{ev}}{f'_{ev}} \quad (17)$$

де  $f_{ev}$  – ефективна площа перерізу пневмолінії;

$f'_{ev}$  – ефективна площа перерізу тієї ж пневмолінії, але знайдена з урахуванням половини гідравлічного опору ділянки трубопровода, для якого визначається розрахунковий об'єм.

Знайдемо ефективну площу на ділянці  $l_{L2}$  за формулою (18), із якої визначимо розрахунковий об'єм [12]:

$$fev'_{L2} = \mu'_2 \cdot fev_{L2} \quad (18)$$

Знайдемо для половини ділянки  $lv_{L2}$  значення  $\xi'_2$  [12]:

$$\xi'_2 = \frac{\lambda \cdot \frac{1}{2} \cdot lv_{L2}}{2 \cdot d} = \frac{0,03 \cdot \frac{1}{2} \cdot 0,2}{2 \cdot 0,002} = 0,75.$$

За величиною  $\xi'_2$  використовуючи графік  $\mu = f(\xi)$  (рис. 3.2), знаходимо величину  $\mu'_2 = 0,6$  [12].

Підставимо знайдені значення в (18) та отримаємо [12]:

$$fev'_{L2} = \mu'_2 \cdot fev_{L2} = 0,6 \cdot 1,76 \cdot 10^{-6} = 1,055 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

Щоб знайти  $fev'$  скористаємось формулою (19) [12]:

$$\frac{1}{fev'^2} = \frac{1}{fev'^2_{L2}} + \frac{1}{fev^2_R} \quad (19)$$

$$fev' = 1,055 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

Знайдені значення підставимо в (17) [12]:

$$kv_v = \frac{1,76 \cdot 10^{-6}}{1,055 \cdot 10^{-6}} = 1,67.$$

Далі підставимо  $kv_v$  у формулу (16) і знайдемо  $V_{PTV}$  [12]:

$$V_{PTV} = 1,67 \cdot 0,628 \cdot 10^{-6} = 1,047 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

### 3.2.1.3 Визначення часу підготовчого періоду

Час  $t_n$  тп підготовчого періоду знаходиться по формулі (20) [12]:

$$t_n = t_1 + t_2 + t_3 \quad (20)$$

де  $t_1$  – час переключення розподільника (приводиться в технічній характеристиці),  $t_1 = 0,63 \text{ с}$ ;

$t_2$  – час розповсюдження тиску в трубопроводах, що пов'язує порожнини пневмоциліндра і розподільника, визначається згідно формули (21) [12]:

$$t_2 = \frac{l_{L2}}{a} \quad (21)$$

де  $l_{L2}$  – довжина трубопроводу;

$a$  – швидкість звуку в повітрі, що визначається як функція абсолютної температури повітря  $a \approx 20\sqrt{T}$ , котру можна прийняти рівною середній температурі навколишнього середовища  $T = 290 \dots 293^\circ \text{ K}$ .

$t_3$  – час зміни тисків у порожнинах пневмоциліндра на момент початку руху поршня з місця.

Підставимо значення в (21) і отримаємо [12]:

$$t_2 = \frac{l_{L2}}{a} = \frac{l_{L2}}{20\sqrt{T}} = \frac{0,2}{20\sqrt{293}} = 0,000584 \text{ с}.$$

Складова  $t_3$  визначається лише часом наповнення робочої порожнини до тиску руху  $\sigma_e$ , при якому поршень починає рухатись з місця [14].

Час наповнення робочої порожнини визначається із виразу (22) [12]:

$$t_{nan} = 3.62 \cdot 10^{-3} \frac{V_{pmin}}{f_e} [\psi_1(\sigma_p) - \psi_1(\sigma_a)] \quad (22)$$

де  $V_{pmin}$  – мінімальний розрахунковий об'єм робочої порожнини;

$$V_{p\min} = V_o + V_{pT} = 56,52 \cdot 10^{-10} + 0,87 \cdot 10^{-6} = 0,87 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3;$$

$f_e$  – ефективна площа прохідного перерізу лінії підводу,  
 $f_e = 1,76 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$ ;

$\sigma = \frac{P}{P_M}$  – безрозмірний тиск в робочій порожнині пневмоциліндру, що є відношення поточного тиску в цій порожнині до тиску, що підводиться від живлення;

$\sigma_a = \frac{P_a}{P_M}$  – безрозмірний тиск, що відповідає початку наповнення:

$$\sigma_a = \frac{P_a}{P_M} = \frac{0,15 \cdot 10^6}{0,3 \cdot 10^6} = 0,5;$$

$\psi_1(\sigma_p)$ ,  $\psi_1(\sigma_a)$  – функції тиску, що визначаються згідно графіку на рис.

3.3 [12].

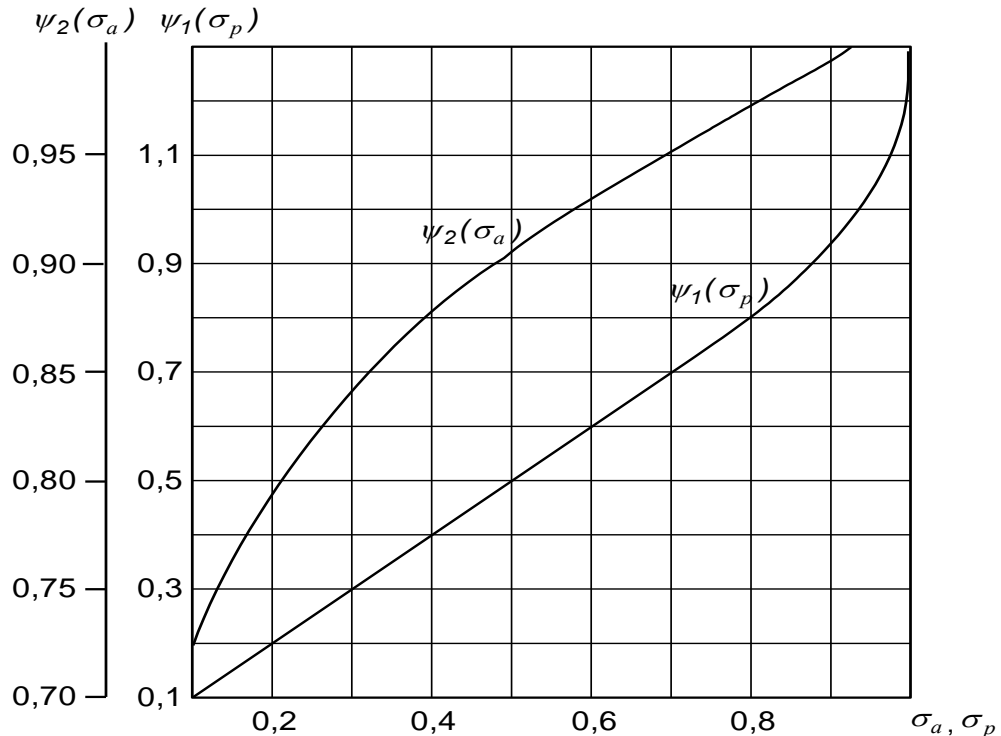


Рисунок 3.3 Графік функцій тиску [14]

Час спорожнення порожнини вихлопу від початкового тиску  $p_{впоч} = p_m$  до тиску руху  $p_{ер}$  в момент початку руху поршня з місця визначається згідно залежності (23) [12]:

$$t_{on} = 2.53 \cdot 10^{-2} \frac{V_{p\epsilon}}{f_{\epsilon e} \cdot \sigma_a^{\frac{2k}{k-1}}} [\psi_2(\sigma_{ep}) - \psi_2(\sigma_a)] \quad (23)$$

Тут  $V_{p\epsilon} = V_{p\epsilon \min} + F_{\epsilon} \cdot s$  – розрахунковий об’єм порожнини вихлопу [12]:

$$V_{p\epsilon} = (V_o + V_{pT\epsilon}) + \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4} \cdot s = (50,24 \cdot 10^{-10} + 1,047 \cdot 10^{-6}) + 100 \cdot 10^{-6} \cdot 0,005 = 1,55 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3;$$

$\sigma_1 = \frac{p_a}{p_{\epsilon}}$  – безрозмірний тиск в порожнині вихлопу, що є відношенням атмосферного тиску  $p_a$  до поточного значення тиску у цій порожнині;

$\sigma_a = \sigma_{\epsilon a} = \frac{p_a}{p_m}$  – безрозмірний тиск в порожнині вихлопу на початку спорожнення,

$$\sigma_a = \sigma_{\epsilon a} = \frac{0,15 \cdot 10^6}{0,3 \cdot 10^6} = 0,5;$$

$\psi_2(\sigma_{ep})$ ,  $\psi_2(\sigma_a)$  – функції тиску в порожнині тиску, що визначається згідно графіка на рис. 3.3 [12].

$k$  – показник адіабати,  $k = 1,4$ .

Необхідні для розрахунку тиски руху визначаються з рівняння рівноваги сил, діючих на поршень на початку руху (24) [12]:

$$p_{\epsilon} \cdot F - p_{ер} \cdot F_{\epsilon} - P = 0 \quad (24)$$

В рівняння входить сила опору руху (25) [12]:

$$P = P_1 + P_2 \pm mg + p_a (F - F_{\epsilon}) \quad (25)$$



яка включає в себе силу тертя  $P_1$ , корисне навантаження  $P_2$ , масову силу  $mg$ , що не враховується при горизонтальному розташуванні циліндра, а також поправку  $p_a(F - F_e)$ .

Значення  $P_1$  знайдемо із формули (26) [12]:

$$P_1 = k_T \cdot (m_1 + m_2) \cdot g \quad (26)$$

де  $k_T$  – коефіцієнт тертя,  $k_T = 0,1$ ;

$m_1$  – маса рухомих частин привода (крім вантажу, що переміщається),  
 $m_1 = 0,05 \text{ кг}$ ;

$m_2$  – маса вантажу, що переміщається,  $m_2 = 0 \text{ кг}$ .

Підставимо значення в (26), отримаємо:

$$P_1 = 0,1 \cdot (0,05 + 0) \cdot 9,81 = 0,05 \text{ Н}.$$

Знайдемо  $P$ , підставивши всі значення в (25) [12]:

$$P = 0,05 + 15 + 0,05 \cdot 9,81 + 0,15 \cdot 10^6 \cdot \left( \frac{3,14 \cdot 0,012^2}{4} - \frac{3,14 \cdot (0,012^2 - 0,004^2)}{4} \right) =$$

$$= 32,5 \text{ Н}.$$

Так як в рівнянні (24) два невідомих то воно має множину рішень, з яких тільки одне вірне. Для його знаходження використовується метод підбору [12].

Присвоюємо значенню  $p_p = p_m = 0,6 \text{ МПа}$  і згідно рівняння (24) знаходиться відповідне значення  $p_{ep}$  [12]:

$$p_{ep} = \frac{p_p \cdot F - P}{F_e},$$

$$p_{ep} = \frac{0,3 \cdot 10^6 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,012^2}{4} - 32,5}{\frac{3,14(0,012^2 - 0,004^2)}{4}} = 0,014 \cdot 10^6 \text{ Па} = 0,014 \text{ МПа}.$$

$$\text{Найдемо } \sigma_p = \frac{p_p}{p_m} = \frac{0,3 \cdot 10^6}{0,3 \cdot 10^6} = 1.$$

Знаходимо значення функцій  $\psi_1(\sigma_p = 1) = 1,27$ ,  $\psi_1(\sigma_a = 0,5) = 0,91$  по графіку на рис. 3.3 [12].

Визначаємо по формулі (22)  $t_{\text{нап}}$  [12]:

$$t_{\text{нап}} = 3,62 \cdot 10^{-3} \frac{87,585 \cdot 10^{-6}}{1,76 \cdot 10^{-6}} [1,27 - 0,91] = 0,000902 \text{ с.}$$

Знаходимо значення функцій по графіку на рис. 3.3 [12].

$$\psi_2(\sigma_{\text{сп}}) = 0,98, \psi_2(\sigma_a) = 0,91.$$

Визначаємо по формулі (23)  $t_{\text{он}}$  [12]:

$$t_{\text{он}} = 2,53 \cdot 10^{-2} \frac{1,55 \cdot 10^{-6}}{1,76 \cdot 10^{-6} \cdot 0,5^{\frac{1,4-1}{2,1,4}}} [0,98 - 0,91] = 0,001728 \text{ с.}$$

Оскільки  $t_{\text{нап}} \leq t_{\text{он}}$ , то підбір правильний [12].

Підставимо значення в (20) і знайдемо час  $t_n$  підготовчого періоду [12]:

$$t_n = t_1 + t_2 + t_3 = 0,063 + 0,000584 + 0,001728 = 0,065 \text{ с.}$$

#### 3.2.1.4 Визначення часу руху

Рух поршня пневмоциліндру двосторонньої дії описується системою диференціальних рівнянь, в яку входять рівняння руху поршня як твердого тіла і два рівняння енергетичного балансу, що характеризують зміну тисків в кожній з порожнин пневмоциліндру (27) [12]:

$$\begin{aligned} \frac{d^2 x}{dt^2} &= \frac{1}{m} (pF - p_{\text{с}} F_{\text{с}} - P); \\ \frac{dp}{dt} &= \frac{k}{x + x_0} \left[ \frac{f_e \cdot K \cdot \rho_{\text{м}} \sqrt{RT_{\text{м}}} \cdot \phi(\sigma)}{F} - p \cdot \frac{dx}{dt} \right]; \\ \frac{dp_{\text{с}}}{dt} &= \frac{k}{s + x_{0\text{с}} - x} \left[ p_{\text{с}} \cdot \frac{dx}{dt} - \frac{f_{\text{с}e} \cdot K \cdot p_{\text{с}}^{\frac{3k-1}{2k}} \sqrt{RT_{\text{м}}} \cdot \phi(\sigma_{\text{с}})}{F_{\text{с}} \cdot p_{\text{с}}^{\frac{k-1}{2k}}} \right] \end{aligned} \quad (27)$$

тут  $k = 1,4$  – показник адіабати;

$$K = \sqrt{\frac{2k}{k-1}} \text{ – коефіцієнт;}$$

$R$  – газова постійна (для сухого повітря  $R = 287 \text{ Дж / кг град}$ );

$T_m$  – абсолютна температура повітря, що підводиться з магістралі;

$\phi(\sigma)$ ,  $\phi(\sigma_\epsilon)$  – функція витрати, що визначається згідно з формулою (28) [12]:

$$\phi(\sigma) = \sqrt{\sigma^{\frac{2}{k}} - \sigma^{\frac{k+1}{k}}} \quad (28)$$

У загальному вигляді система рівнянь (27) рішення не має. Вона може бути вирішена тільки шляхом числового інтегрування. [12]

Початковими параметрами при інтегруванні є [12]:

$$x_n = 0; \quad \left( \frac{dx}{dt} \right)_n = \dot{x}_n = 0; \quad \left( \frac{d^2x}{dt^2} \right)_n = \ddot{x}_n = 0; \quad p_n = p_p; \quad \sigma_n = \frac{p_p}{p_m} = \sigma_p; \quad p_{en} = p_{ep};$$

$$\sigma_{en} = \frac{p_a}{p_{ep}} = \sigma_{ep}.$$

Інтегрування ведеться до тих пір, поки не буде знайдене значення кінцевої координати поршня  $x_{кін} \geq s$  [14].

Система рівнянь (27) після переходу від дійсних величин до безрозмірних приймає вигляд (29) [12]:

$$\begin{aligned} \ddot{\xi} &= \frac{1}{N^2} \left( \sigma - \frac{\sigma_a}{\alpha \cdot \sigma_\epsilon} - \chi \right); \\ \frac{d\sigma}{d\tau} &= \frac{k}{\xi_0 + \xi} [\phi(\sigma) - \sigma \cdot \dot{\xi}]; \\ \frac{d\sigma_\epsilon}{d\tau} &= \frac{k}{\xi_{0\epsilon} + 1 - \xi} \left[ \alpha \cdot \omega \cdot \sigma_a^{\frac{k-1}{2k}} \cdot \sigma_\epsilon^{\frac{k+1}{2k}} \cdot \phi(\sigma_\epsilon) - \sigma_\epsilon \cdot \dot{\xi} \right]. \end{aligned} \quad (29)$$

Тут  $\ddot{\xi}$  – прискорення поршня;

$N$  – конструктивний параметр:

$$N = 352 \frac{f_e}{D^3} \sqrt{\frac{mg}{p_m \cdot s}} = 352 \cdot \frac{1,76 \cdot 10^{-6}}{0,012^3} \sqrt{\frac{0,05 \cdot 9,81}{0,3 \cdot 10^6 \cdot 0,005}} = 4,65.$$

Тиск в робочій порожнині  $\sigma = \frac{p}{p_m}$ ;

Відношення площ поршня в порожнинах циліндра  $\alpha = \frac{F}{F_{\epsilon}}$ :

$$\alpha = \frac{\frac{3,14 \cdot 0,012^2}{4}}{\frac{3,14 \cdot (0,012^2 - 0,004^2)}{4}} = 1,125;$$

Тиск в порожнині вихлопу  $\sigma = \frac{P_a}{P_{\epsilon}}$ ;

Безрозмірне навантаження  $\chi = \frac{P}{P_m \cdot F} = 0,55$ .

Початкові параметри при числовому інтегруванні [12]:  $\xi_n = 0$ ;  $\dot{\xi}_n = 0$ ;  
 $\ddot{\xi}_n = 0$ ;  $\sigma_n = \sigma_p$ ;  $\sigma_{en} = \sigma_{ep}$ .

Тоді рівняння динаміки прямого ходу привода буде мати такий вигляд (30) [12]:

$$\sigma_p - \frac{\sigma_a}{\alpha \cdot \sigma_{ep}} - \chi = 0. \quad (30)$$

В (29) прийmemo  $\sigma_p = 1$ , тоді:

$$\sigma_{ep} = \frac{\sigma_a}{\alpha \cdot (1 - \chi)} = \frac{0,5}{1,125 \cdot (1 - 0,55)} = 0,98.$$

Сума інтегралів безрозмірного часу на всіх кроках числового інтегрування в межах зміни  $\xi$  від 0 до 1 дає безрозмірний час руху поршня  $t_s$ , який переводиться в дійсний час згідно формули (31) [12]:

$$t_p = 1,03 \cdot 10^{-3} \frac{s D^2}{f_e} \tau_s. \quad (31)$$

Для спрощеного методу знаходження часу руху поршня необхідно спочатку визначити як рухається поршень циліндру, рівноприскорено або рівномірно [12].

Прихильність приводу до рівноприскореного чи рівномірного руху і можливість використання для розрахунку часу руху спрощених формул

оцінюється по величині конструктивного параметру  $N$ . Він порівнюється зі значенням  $N^*$ , отриманому з виразу (32) [15].

$$N^* = \frac{1}{\dot{\xi}_y} \sqrt{\frac{1 - \frac{\sigma_a}{\alpha} - \chi}{2}} \quad (32)$$

Значення  $\dot{\xi}_y$  знаходимо з додатку 2 [14], де для  $\chi = 0,55$  та  $\sigma = 0,5$  при співвідношенні знаходимо що  $\dot{\xi}_y = 0,17$ ;  $\sigma_y = 0,91$ .

$$N^* = \frac{1}{\dot{\xi}_y} \sqrt{\frac{1 - \frac{\sigma_a}{\alpha} - \chi}{2}} = 0,31.$$

Тобто  $N > N^*$ , а отже має місце рівноприскорений рух.

Рівноприскорений рух має місце при значній масі рухомих частин та великій перепускній здатності ліній підводу та вихлопу. Через інерційність рухомих частин їх розгін відбувається повільно та триває на протязі усього руху поршня. На поршні установлюється максимальний перепад тисків, тому що процеси наповнення і спорожнення порожнин пневмоциліндру протікають скоріше, аніж зміна їх об'єму. Тому при русі поршня в робочій порожнині підтримується тиск  $p_m$ , а в порожнині вихлопу –  $p_a$ . Для таких умов рівняння, що характеризують зміну тисків, втрачають сенс і при динамічному розрахунку розглядаються лише рівняння руху поршня, у якому  $\sigma = 1$  та  $\sigma_g = 1$  [15]:

$$\ddot{\xi} = \frac{1}{N^2} \left( 1 - \frac{\sigma_a}{\alpha} - \chi \right).$$

Після подвійного інтегрування (постійні інтегрування знаходяться при початкових умовах, інакше кажучи при  $\tau = 0, \dot{\xi} = 0, \xi = 0$ ) знаходимо [15]:

$$\xi = \frac{1}{N^2} \left( 1 - \frac{\sigma_a}{\alpha} - \chi \right) \cdot \frac{\tau^2}{2}.$$

Безрозмірний час повного руху  $\tau_s$  знаходиться при  $\xi = 1$  [15]:

$$\tau_s = N \sqrt{\frac{2}{1 - \frac{\sigma_a}{\alpha} - \chi}} = 88,4.$$

Тоді:

$$t_p = 1,03 \cdot 10^{-3} \frac{sD^2}{f_e} \tau_s = 1,03 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{0,005 \cdot 0,012^2}{1,26 \cdot 10^{-6}} \cdot 88,4 = 0,051 \text{ с}.$$

### 3.2.1.5 Визначення часу заключного періоду

Час заключного періоду визначається тривалістю тисків в порожнинах пневмоциліндру після зупинки поршня наприкінці руху, тобто тривалістю процесів наповнення і спорожнення робочої і вихлопної порожнин, в яких повинні встановитися стабільні тиски – магістральний в робочій і атмосферний в порожнині вихлопу. Для визначення часу цих процесів використовуються залежності (22) і (24) з урахуванням умов, які змінилися. Робоча порожнина з розрахунковим об'ємом наповнюється від тиску  $p_k$  в момент зупинки поршня наприкінці руху до тиску  $p_m$  [12].

$$V_p = V_{p.\min} + Fs = 87,585 \cdot 10^{-6} + 0,000113 \cdot 0,005 = 1,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

Їм відповідають безрозмірні значення  $\sigma_k = \frac{p_k}{p_m}$  і  $\sigma = \frac{p_m}{p_m} = 1$  [12]

Розрахунковий об'єм порожнини вихлопу:

$$V_{pв} = V_{pв.\min} = 1,55 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3,$$

а діапазон зміни тиску – від  $p_{вк}$  до  $p_a$ , або від  $\sigma_{вк} = \frac{p_a}{p_{вк}}$  до  $\sigma_{\epsilon} = \frac{p_a}{p_{\epsilon}} = 1$  в

безрозмірних величинах [12].

Визначаємо час наповнення робочої порожнини [15]:

$$t_{\text{нап}} = 3,62 \cdot 10^{-3} \frac{V_p}{f_e} [\psi_1(\sigma_m) - \psi_1(\sigma_k)].$$

$$\sigma_k = 1;$$

$$\sigma_{pк} = 0,5.$$

Знаходимо значення функції по графіку на рис. 3.3 [15].

$$\psi_1(\sigma_M = 1) = 1,27, \psi_1(\sigma_K = 0,5) = 0,5.$$

$$t_{\text{нап}} = 3,62 \cdot 10^{-3} \frac{1,4 \cdot 10^{-6}}{1,26 \cdot 10^{-6}} [1,27 - 0,5] = 0,003175 \text{ с.}$$

Визначаємо час випорожнення порожнини вихлопу [12]:

$$t_{\text{он}} = 2,53 \cdot 10^{-2} \frac{V_{\text{pg}}}{f_{\text{ве}} \cdot \sigma_a^{\frac{k-1}{2k}}} [\psi_2(\sigma_{\text{е}}) - \psi_2(\sigma_{\text{в}})].$$

$$\sigma_{\text{BV}} = 0,505;$$

$$\sigma_{\text{B}} = 1.$$

Знаходимо значення функції по графіку на рис. 3.3 [15].

$$\psi_2(\sigma_{\text{BV}} = 0,505) = 0,93, \psi_2(\sigma_{\text{B}} = 1) = 1,16.$$

$$t_{\text{он}} = 2,53 \cdot 10^{-2} \frac{1,55 \cdot 10^{-6}}{1,76 \cdot 10^{-6} \cdot 0,5^{\frac{1,4-1}{2 \cdot 1,4}}} [1,16 - 0,93] = 0,0138 \text{ с.}$$

За час заключного періоду  $t_{\text{зак}}$  приймається найбільше із знайдених значень  $t_{\text{нап}}$  і  $t_{\text{он}}$ , тобто  $t_{\text{зак}} = 0,0138 \text{ с.}$

#### 3.2.1.6 Визначення часу прямого ходу

Визначаємо час прямого ходу за формулою (33) [12]:

$$t_{\text{nx}} = t_{\text{n}} + t_{\text{p}} + t_{\text{зак}}, \quad (33)$$

Підставимо знайдені значення у формулу (33) і одержимо [12]:

$$t_{\text{nx}} = 0,065 + 0,051 + 0,0138 = 0,13 \text{ с.}$$

#### 3.2.2. Динамічний розрахунок пристроїв повздовжнього переміщення

Розрахунок пристроїв повздовжнього переміщення було проведено у аналогічно до розрахунків фіксуєчого приводу (див. пункт 3.2.1).

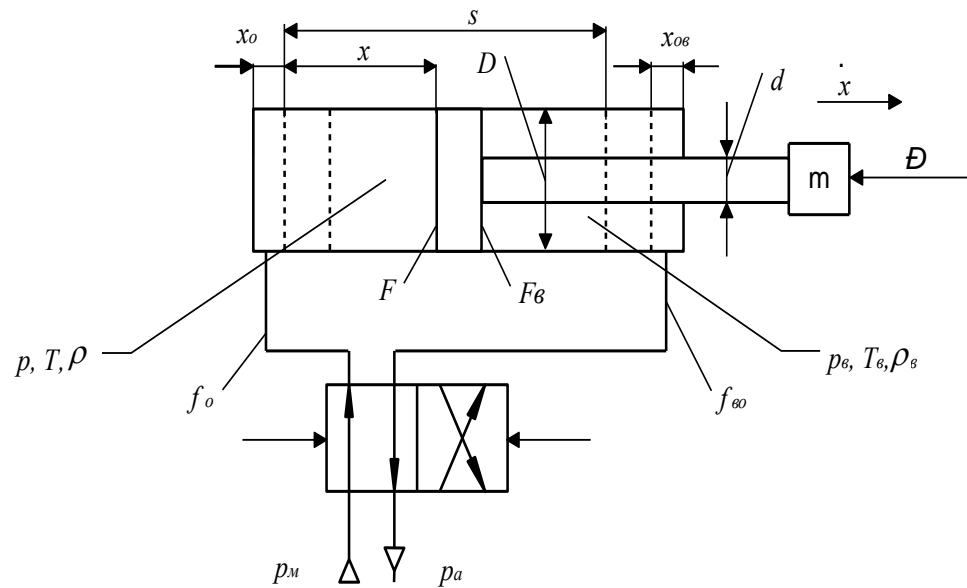


Рисунок 3.4 Розрахункова схема пристроїв повздовжнього переміщення [15]

$$F = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,016}{4} = 0,000201 \text{ м}^2;$$

$$V_0 = 0,01 \cdot F \cdot s = 0,01 \cdot 0,000201 \cdot 0,05 = 0,1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3;$$

$$V_{PT} = 0,86 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3;$$

$$x_0 = \frac{V_{p \min}}{F} = \frac{V_0 + V_{pm}}{F} = \frac{0,1 \cdot 10^{-6} + 0,86 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3}{201 \cdot 10^{-6}} = 4,8 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

$$F_v = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} = \frac{3,14 \cdot (0,016^2 - 0,006^2)}{4} = 0,000173 \text{ м}^2;$$

$$V_{0v} = 0,01 \cdot F_v \cdot s = 0,01 \cdot 0,000173 \cdot 0,05 = 0,086 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3;$$

$$V_{PTv} = 1,047 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3;$$

$$x_0 = \frac{V_{p \min v}}{F_v} = \frac{V_{0v} + V_{PTv}}{F_v} = \frac{0,086 \cdot 10^{-6} + 1,047 \cdot 10^{-6}}{173 \cdot 10^{-6}} = 6,56 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

3.2.2.1 Знаходження пропускної здатності пневмоліній

3.2.2.1.1 Знаходження пропускної здатності напірної пневмолінії

Пневмолінія розроблюваного механізму зображена на рис. 3.4.



$$fe_R = \frac{K_V}{5 \cdot 10^4} = \frac{60}{5 \cdot 10^4} = 0,0012 m^2.$$

$$\xi_1 = \frac{\lambda \cdot l_{L1}}{2 \cdot d_{L1}} = \frac{0,03 \cdot 0,28}{2 \cdot 0,002} = 2,1;$$

$$\mu_1 = 0,56.$$

$$f_{L1} = \frac{\pi \cdot d_{L1}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,002^2}{4} = 3,14 \cdot 10^{-6} m^2;$$

$$fe_{L1} = \mu_1 \cdot f_{L1} = 0,56 \cdot 3,14 \cdot 10^{-6} = 1,76 \cdot 10^{-6} m^2.$$

$$\xi_2 = \frac{\lambda \cdot l_{L2}}{2 \cdot d} = \frac{0,03 \cdot 0,2}{2 \cdot 0,002} = 1,5;$$

$$\mu_2 = 0,56.$$

$$f_{L2} = \frac{\pi \cdot d_{L2}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,002^2}{4} = 3,14 \cdot 10^{-6} m^2;$$

$$fe_{L2} = \mu_2 \cdot f_{L2} = 0,56 \cdot 3,14 \cdot 10^{-6} = 1,76 \cdot 10^{-6} m^2.$$

$$fe = 1,24 \cdot 10^{-6} m^2.$$

### 3.2.2.1.2 Знаходження пропускної здатності пневмолінії вихлопу

Пневмолінія розроблюваного механізму зображена на рис. 3.4.

$$fev_R = \frac{K_{V_R}}{5 \cdot 10^4} = \frac{60}{5 \cdot 10^4} = 0,0012 m^2.$$

$$\xi_2 = \frac{0,03}{2} \cdot \frac{0,2}{0,002} = 1,5;$$

$$\mu_{v2} = 0,56.$$

$$fv_{L2} = \frac{\pi \cdot dv_{L2}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,002^2}{4} = 3,14 \cdot 10^{-6} m^2;$$

$$fev_{L2} = \mu_2 \cdot fv_{L2} = 0,56 \cdot 3,14 \cdot 10^{-6} = 1,76 \cdot 10^{-6} m^2.$$

$$\frac{1}{fev^2} = \frac{1}{0,0012} + \frac{1}{1,76 \cdot 10^{-6}};$$

$$fev = 1,76 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

### 3.2.2.2 Врахування об'ємів трубопроводів при динамічному розрахунку

#### 3.2.2.2.1 Врахування об'ємів трубопроводів при динамічному розрахунку напірної пневмолінії [15]

$$V_T = \frac{\pi \cdot d_L^2}{4} l_{L2} = \frac{3,14 \cdot 0,002^2}{4} \cdot 0,2 = 0,628 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

$$\xi'_2 = \frac{\lambda \cdot \frac{1}{2} \cdot l_{L2}}{2 \cdot d} = \frac{0,03 \cdot \frac{1}{2} \cdot 0,2}{2 \cdot 0,002} = 0,75;$$

$$\mu'_2 = 0,6.$$

$$fe'_{L2} = \mu'_2 \cdot fe_{L2} = 0,6 \cdot 1,76 \cdot 10^{-6} = 1,055 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2;$$

$$fe' = 0,904 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

$$k_v = \frac{fe}{fe'} = \frac{1,24 \cdot 10^{-6}}{0,904 \cdot 10^{-6}} = 1,37.$$

$$V_{PT} = k_v \cdot V_T = 1,37 \cdot 0,628 \cdot 10^{-6} = 0,86 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

#### 3.2.2.2.2 Врахування об'ємів трубопроводів при динамічному розрахунку пневмолінії вихлопу [15]

$$V_{Tv} = \frac{\pi \cdot d_L^2}{4} l_{L2} = \frac{3,14 \cdot 0,002^2}{4} \cdot 0,2 = 0,628 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

$$\xi'_2 = \frac{\lambda \cdot \frac{1}{2} \cdot l_{L2}}{2 \cdot d} = \frac{0,03 \cdot \frac{1}{2} \cdot 0,2}{2 \cdot 0,002} = 0,75;$$

$$\mu'_2 = 0,6.$$

$$fev'_{L2} = \mu'_2 \cdot fev_{L2} = 0,6 \cdot 1,76 \cdot 10^{-6} = 1,055 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2;$$

$$fev' = 1,055 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

$$kv_v = \frac{1,76 \cdot 10^{-6}}{1,055 \cdot 10^{-6}} = 1,67.$$

$$V_{pTv} = 1,67 \cdot 0,628 \cdot 10^{-6} = 1,047 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

### 3.2.2.3 Визначення часу підготовчого періоду

$$t_1 = 0,63 \text{ с.}$$

$$t_2 = \frac{l_{L2}}{a} = \frac{l_{L2}}{20\sqrt{T}} = \frac{0,2}{20\sqrt{293}} = 0,000584 \text{ с.}$$

$$V_{p\min} = V_o + V_{pT} = 0,1 \cdot 10^{-6} + 0,86 \cdot 10^{-6} = 0,96 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3;$$

$$\sigma_a = \frac{p_a}{p_m} = \frac{0,15 \cdot 10^6}{0,3 \cdot 10^6} = 0,5;$$

$$V_{ps} = (V_o + V_{pTs}) + \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4} \cdot s = (0,086 \cdot 10^{-6} + 1,047 \cdot 10^{-6}) + 173 \cdot 10^{-6} \cdot 0,05 = 9,77 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3;$$

$$\sigma_a = \sigma_{sa} = \frac{0,15 \cdot 10^6}{0,3 \cdot 10^6} = 0,5;$$

$$P_1 = 0,1 \cdot (0,14 + 3,4) \cdot 9,81 = 3,47 \text{ Н.}$$

$$P = 3,47 + 18 + 0,14 \cdot 9,81 + 0,15 \cdot 10^6 \cdot \left( \frac{3,14 \cdot 0,016^2}{4} - \frac{3,14 \cdot (0,016^2 - 0,006^2)}{4} \right) = 53 \text{ Н.}$$

$$p_{ep} = \frac{0,3 \cdot 10^6 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,016^2}{4} - 53}{\frac{3,14 \cdot (0,016^2 - 0,006^2)}{4}} = 0,042 \cdot 10^6 \text{ Па} = 0,042 \text{ МПа.}$$

$$\sigma_p = \frac{p_p}{p_m} = \frac{0,3 \cdot 10^6}{0,3 \cdot 10^6} = 1.$$

$$\psi_1(\sigma_p = 1) = 1,27, \psi_1(\sigma_a = 0,5) = 0,91.$$

$$t_{nan} = 3,62 \cdot 10^{-3} \frac{0,96 \cdot 10^{-6}}{1,24 \cdot 10^{-6}} [1,27 - 0,91] = 0,00101 \text{ с.}$$

$$\psi_2(\sigma_{ep}) = 0,98, \psi_2(\sigma_a) = 0,91.$$

$$t_{on} = 2,53 \cdot 10^{-2} \frac{1,55 \cdot 10^{-6}}{9,77 \cdot 10^{-6} \cdot 0,5^{\frac{1,4-1}{2 \cdot 1,4}}} [0,98 - 0,91] = 0,0109 \text{ с.}$$

Оскільки  $t_{nan} \leq t_{on}$ , то підбір правильний [12].

$$t_n = t_1 + t_2 + t_3 = 0,063 + 0,000584 + 0,0109 = 0,0527 \text{ с.}$$

#### 3.2.2.4 Визначення часу руху

$$N = 352 \frac{f_e}{D^3} \sqrt{\frac{mg}{p_m \cdot s}} = 352 \cdot \frac{1,24 \cdot 10^{-6}}{0,016^3} \sqrt{\frac{0,14 \cdot 9,81}{0,3 \cdot 10^6 \cdot 0,05}} = 1,02.$$

$$\alpha = \frac{\frac{3,14 \cdot 0,016^2}{4}}{3,14 \cdot \frac{(0,016^2 - 0,006^2)}{4}} = 1,163;$$

$$\chi = \frac{P}{p_m \cdot F} = 0,55;$$

$$\sigma_{ep} = \frac{\sigma_a}{\alpha \cdot (1 - \chi)} = \frac{0,5}{1,163 \cdot (1 - 0,55)} = 0,95.$$

Значення  $\xi_y$  знаходимо з додатку 2 [14], де для  $\chi = 0,55$  та  $\sigma = 0,5$  при співвідношенні знаходимо що  $\xi_y = 0,17$ ;  $\sigma_y = 0,91$ .

$$N^* = \frac{1}{\xi_y} \sqrt{\frac{1 - \frac{\sigma_a}{\alpha} - \chi}{2}} = 0,59.$$

Тобто  $N > N^*$ , а отже має місце рівноприскорений рух.

$$\tau_s = N \sqrt{\frac{2}{1 - \frac{\sigma_a}{\alpha} - \chi}} = 10,14.$$

$$t_p = 1,03 \cdot 10^{-3} \frac{s D^2}{f_e} \tau_s = 1,03 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{0,05 \cdot 0,016^2}{1,24 \cdot 10^{-6}} \cdot 10,14 = 0,108 \text{ с.}$$

#### 3.2.2.5 Визначення часу заключного періоду

$$V_p = V_{p,\min} + Fs = 0,96 \cdot 10^{-6} + 0,000201 \cdot 0,05 = 11,01 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3;$$

$$V_{p\theta} = V_{p\theta.\min} = 9,77 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3;$$

$$\sigma_k = 1;$$

$$\sigma_{pK} = 0,5;$$

$$\psi_1(\sigma_M = 1) = 1,27, \psi_1(\sigma_K = 0,5) = 0,5.$$

$$t_{\text{нан}} = 3,62 \cdot 10^{-3} \frac{11,01 \cdot 10^{-6}}{1,24 \cdot 10^{-6}} [1,27 - 0,5] = 0,025 \text{ с.}$$

$$\sigma_{BV} = 0,505;$$

$$\sigma_B = 1;$$

$$\psi_2(\sigma_{BV} = 0,505) = 0,93, \psi_2(\sigma_B = 1) = 1,16.$$

$$t_{\text{он}} = 2,53 \cdot 10^{-2} \frac{9,77 \cdot 10^{-6}}{1,55 \cdot 10^{-6} \cdot 0,5^{\frac{1,4-1}{2-1,4}}} [1,16 - 0,93] = 0,087 \text{ с.}$$

За час заключного періоду  $t_{\text{зак}}$  приймається найбільше із знайдених значень  $t_{\text{нан}}$  і  $t_{\text{он}}$ , тобто  $t_{\text{зак}} = 0,087 \text{ с}$  [12].

#### 3.2.2.6 Визначення часу прямого ходу

$$t_{\text{нх}} = 0,0527 + 0,108 + 0,087 = 0,18 \text{ с.}$$

#### 3.2.3. Динамічний розрахунок пристроїв повороту

Розрахунок пристроїв повороту було проведено у аналогічно до розрахунків пристроїв повздовжнього переміщення та фіксації (див. пункти 3.2.1 та 3.2.2).

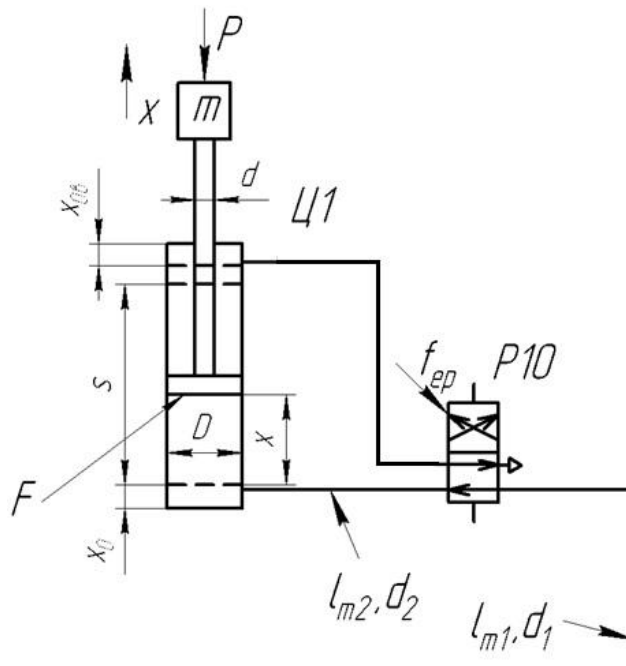


Рисунок 3.5 Розрахункова схема пристроїв повороту [15]

$$F = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,012^2}{4} = 0,000113 \text{ м}^2;$$

$$V_0 = 0,01 \cdot F \cdot s = 0,01 \cdot 0,000113 \cdot 0,01 = 0,011 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3;$$

$$V_{PT} = 0,87 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3;$$

$$x_0 = \frac{V_{p \min}}{F} = \frac{V_0 + V_{pm}}{F} = \frac{0,011 \cdot 10^{-6} + 0,87 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3}{113 \cdot 10^{-6}} = 7,77 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

$$F_v = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} = \frac{3,14 \cdot (0,012^2 - 0,004^2)}{4} = 0,0001 \text{ м}^2;$$

$$V_{0v} = 0,01 \cdot F_v \cdot s = 0,01 \cdot 0,0001 \cdot 0,01 = 0,01 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3;$$

$$V_{PTv} = 1,047 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3;$$

$$x_0 = \frac{V_{p \min v}}{F_v} = \frac{V_{0v} + V_{PTv}}{F_v} = \frac{0,01 \cdot 10^{-6} + 1,047 \cdot 10^{-6}}{100 \cdot 10^{-6}} = 10,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

3.2.3.1 Знаходження пропускної здатності пневмоліній

3.2.3.1.1 Знаходження пропускної здатності напірної пневмолінії

Пневмолінія розроблюваного механізму зображена на рис. 3.5.

$$fe_R = \frac{K_V}{5 \cdot 10^4} = \frac{60}{5 \cdot 10^4} = 0,0012 \text{ м}^2.$$

$$\xi_1 = \frac{\lambda \cdot l_{L1}}{2 \cdot d_{L1}} = \frac{0,03 \cdot 0,18}{2 \cdot 0,002} = 1,35;$$

$$\mu_1 = 0,57.$$

$$f_{L1} = \frac{\pi \cdot d_{L1}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,002^2}{4} = 3,14 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2;$$

$$fe_{L1} = \mu_1 \cdot f_{L1} = 0,57 \cdot 3,14 \cdot 10^{-6} = 1,8 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

$$\xi_2 = \frac{\lambda \cdot l_{L2}}{2 \cdot d} = \frac{0,03 \cdot 0,2}{2 \cdot 0,002} = 1,5;$$

$$\mu_2 = 0,56.$$

$$f_{L2} = \frac{\pi \cdot d_{L2}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,002^2}{4} = 3,14 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2;$$

$$fe_{L2} = \mu_2 \cdot f_{L2} = 0,56 \cdot 3,14 \cdot 10^{-6} = 1,76 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

$$fe = 1,25 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

### 3.2.3.1.2 Знаходження пропускної здатності пневмолінії вихлопу

Пневмолінія розроблюваного механізму зображена на рис. 3.5.

$$fev_R = \frac{K_{V_R}}{5 \cdot 10^4} = \frac{60}{5 \cdot 10^4} = 0,0012 \text{ м}^2.$$

$$\xi_2 = \frac{0,03}{2} \cdot \frac{0,2}{0,002} = 1,5;$$

$$\mu_{v2} = 0,56.$$

$$fv_{L2} = \frac{\pi \cdot dv_{L2}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,002^2}{4} = 3,14 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2;$$

$$fev_{L2} = \mu_2 \cdot fv_{L2} = 0,56 \cdot 3,14 \cdot 10^{-6} = 1,76 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

$$\frac{1}{fev^2} = \frac{1}{0,0012} + \frac{1}{1,76 \cdot 10^{-6}};$$

$$fev = 1,76 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

### 3.2.3.2 Врахування об'ємів трубопроводів при динамічному розрахунку

#### 3.2.3.2.1 Врахування об'ємів трубопроводів при динамічному розрахунку напірної пневмолінії [15]

$$V_T = \frac{\pi \cdot d_L^2}{4} l_{L2} = \frac{3,14 \cdot 0,002^2}{4} \cdot 0,2 = 0,628 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

$$\xi'_2 = \frac{\lambda \cdot \frac{1}{2} \cdot l_{L2}}{2 \cdot d} = \frac{0,03 \cdot \frac{1}{2} \cdot 0,2}{2 \cdot 0,002} = 0,75;$$

$$\mu'_2 = 0,6.$$

$$fe'_{L2} = \mu'_2 \cdot fe_{L2} = 0,6 \cdot 1,76 \cdot 10^{-6} = 1,055 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2;$$

$$fe' = 0,91 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

$$k_v = \frac{fe}{fe'} = \frac{1,25 \cdot 10^{-6}}{0,91 \cdot 10^{-6}} = 1,38.$$

$$V_{PT} = k_v \cdot V_T = 1,38 \cdot 0,628 \cdot 10^{-6} = 0,87 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

#### 3.2.3.2.2 Врахування об'ємів трубопроводів при динамічному розрахунку пневмолінії вихлопу [15]

$$V_{Tv} = \frac{\pi \cdot d_L^2}{4} l_{L2} = \frac{3,14 \cdot 0,002^2}{4} \cdot 0,2 = 0,628 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

$$\xi'_2 = \frac{\lambda \cdot \frac{1}{2} \cdot l_{L2}}{2 \cdot d} = \frac{0,03 \cdot \frac{1}{2} \cdot 0,2}{2 \cdot 0,002} = 0,75;$$

$$\mu'_2 = 0,6.$$

$$fev'_{L2} = \mu'_2 \cdot fev_{L2} = 0,6 \cdot 1,76 \cdot 10^{-6} = 1,055 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2;$$

$$fev' = 1,055 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

$$kv_v = \frac{1,76 \cdot 10^{-6}}{1,055 \cdot 10^{-6}} = 1,67.$$



$$V_{pTv} = 1,67 \cdot 0,628 \cdot 10^{-6} = 1,047 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

### 3.2.3.3 Визначення часу підготовчого періоду

$$t_1 = 0,63 \text{ с.}$$

$$t_2 = \frac{l_{L2}}{a} = \frac{l_{L2}}{20\sqrt{T}} = \frac{0,2}{20\sqrt{293}} = 0,000584 \text{ с.}$$

$$V_{p\min} = V_o + V_{pT} = 0,011 \cdot 10^{-6} + 0,87 \cdot 10^{-6} = 0,88 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3;$$

$$\sigma_a = \frac{p_a}{p_m} = \frac{0,15 \cdot 10^6}{0,3 \cdot 10^6} = 0,5;$$

$$V_{p\phi} = (V_o + V_{pT\phi}) + \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4} \cdot s = 0,01 \cdot 10^{-6} (50,24 \cdot 10^{-10} + 1,047 \cdot 10^{-6}) + 100 \cdot 10^{-6} \cdot 0,01 = 2,06 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3;$$

$$\sigma_a = \sigma_{\phi a} = \frac{0,15 \cdot 10^6}{0,3 \cdot 10^6} = 0,5;$$

$$P_1 = 0,1 \cdot (0,14 + 1) \cdot 9,81 = 1,34 \text{ Н.}$$

$$P = 1,34 + 10 + 0,14 \cdot 9,81 + 0,15 \cdot 10^6 \cdot \left( \frac{3,14 \cdot 0,012^2}{4} - \frac{3,14 \cdot (0,012^2 - 0,004^2)}{4} \right) = 29,7 \text{ Н.}$$

$$P_{\phi p} = \frac{0,3 \cdot 10^6 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,012^2}{4} - 29,7}{\frac{3,14(0,012^2 - 0,004^2)}{4}} = 0,042 \cdot 10^6 \text{ Па} = 0,042 \text{ МПа.}$$

$$\sigma_p = \frac{p_p}{p_m} = \frac{0,3 \cdot 10^6}{0,3 \cdot 10^6} = 1.$$

$$\psi_1(\sigma_p = 1) = 1,27, \psi_1(\sigma_a = 0,5) = 0,91.$$

$$t_{\text{nan}} = 3,62 \cdot 10^{-3} \frac{0,88 \cdot 10^{-6}}{1,25 \cdot 10^{-6}} [1,27 - 0,91] = 0,000912 \text{ с.}$$

$$\psi_2(\sigma_{\phi p}) = 0,98, \psi_2(\sigma_a) = 0,91.$$

$$t_{on} = 2,53 \cdot 10^{-2} \frac{2,06 \cdot 10^{-6}}{1,76 \cdot 10^{-6} \cdot 0,5^{2,4}} [0,98 - 0,91] = 0,0023 \text{ с.}$$

Оскільки  $t_{nan} \leq t_{on}$ , то підбір правильний [12].

$$t_n = t_1 + t_2 + t_3 = 0,063 + 0,000584 + 0,0023 = 0,061 \text{ с.}$$

#### 3.2.3.4 Визначення часу руху

$$N = 352 \frac{f_e}{D^3} \sqrt{\frac{mg}{p_m \cdot s}} = 352 \cdot \frac{1,25 \cdot 10^{-6}}{0,012^3} \sqrt{\frac{0,14 \cdot 9,81}{0,3 \cdot 10^6 \cdot 0,01}} = 5,5.$$

$$\alpha = \frac{\frac{3,14 \cdot 0,012^2}{4}}{3,14 \cdot (0,012^2 - 0,004^2)} = 1,125;$$

$$\chi = \frac{P}{p_m \cdot F} = 0,55;$$

$$\sigma_{ep} = \frac{\sigma_a}{\alpha \cdot (1 - \chi)} = \frac{0,5}{1,125 \cdot (1 - 0,55)} = 0,98.$$

Значення  $\dot{\xi}_y$  знаходимо з додатку 2 [14], де для  $\chi = 0,55$  та  $\sigma = 0,5$  при співвідношенні знаходимо що  $\dot{\xi}_y = 0,17$ ;  $\sigma_y = 0,91$ .

$$N^* = \frac{1}{\dot{\xi}_y} \sqrt{\frac{1 - \frac{\sigma_a}{\alpha} - \chi}{2}} = 0,31.$$

Тобто  $N > N^*$ , а отже має місце рівноприскорений рух.

$$\tau_s = N \sqrt{\frac{2}{1 - \frac{\sigma_a}{\alpha} - \chi}} = 103,7.$$

$$t_p = 1,03 \cdot 10^{-3} \frac{sD^2}{f_e} \tau_s = 1,03 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{0,01 \cdot 0,012^2}{1,25 \cdot 10^{-6}} \cdot 103,7 = 0,123 \text{ с.}$$

#### 3.2.3.5 Визначення часу заключного періоду

$$V_p = V_{p.min} + Fs = 0,88 \cdot 10^{-6} + 0,000113 \cdot 0,01 = 2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3;$$

$$V_{p\phi} = V_{p\phi.min} = 2,06 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

$$\sigma_k = 1;$$

$$\sigma_{pK} = 0,5.$$

$$\psi_1(\sigma_M = 1) = 1,27, \psi_1(\sigma_K = 0,5) = 0,5.$$

$$t_{nan} = 3,62 \cdot 10^{-3} \frac{2 \cdot 10^{-6}}{1,25 \cdot 10^{-6}} [1,27 - 0,5] = 0,0045c.$$

$$\sigma_{BV} = 0,505;$$

$$\sigma_B = 1;$$

$$\psi_2(\sigma_{BV} = 0,505) = 0,93, \psi_2(\sigma_B = 1) = 1,16.$$

$$t_{on} = 2,53 \cdot 10^{-2} \frac{2,06 \cdot 10^{-6}}{1,76 \cdot 10^{-6} \cdot 0,5^{\frac{1,4-1}{2 \cdot 1,4}}} [1,16 - 0,93] = 0,0184c.$$

За час заключного періоду  $t_{zak}$  приймається найбільше із знайдених значень  $t_{nan}$  і  $t_{on}$ , тобто  $t_{zak} = 0,0184c$  [12].

### 3.2.3.6 Визначення часу прямого ходу

$$t_{nx} = 0,061 + 0,123 + 0,0184 = 0,19 c.$$

## 3.3 Розробка конструктивних рішень

Кількість секцій було обрано спираючись на особливості переміщення пристрою по трубопроводу. Оскільки є можливість знаходження однієї секції в проміжному положенні проходу через поворот, то для забезпечення оптимальної рівноваги і фіксації приладу необхідно, щоб хоча б дві інших секції були зафіксовані. Це грає важливу роль при русі вгору або вниз. Однак, при більшій кількості секцій на пневмоциліндри, які виконують функцію повздовжнього переміщення, буде діяти більше навантаження, внаслідок чого збільшаться їх розміри. Оскільки збільшаться їх розміри, то для можливості подолання поворотів зменшиться їх хід, що в свою чергу призведе до збільшення часу руху пристрою. Тому було прийнято рішення щодо створення, на початковому етапі, пристрою лише з трьома секціями, що забезпечить фіксацію пристрою (рис. 3.6).

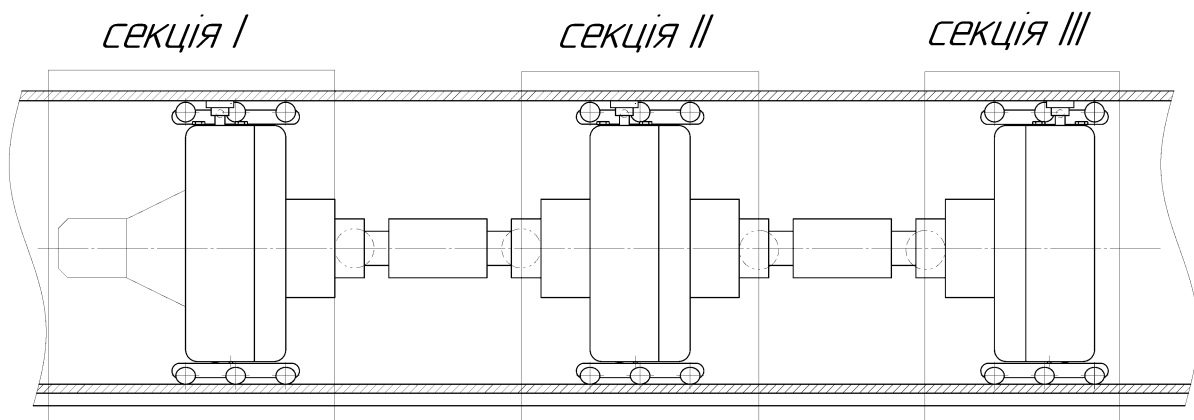


Рисунок 3.6 Схема розташування секцій

Особливістю нашої конструкції є місце її робити, переглядаючи каталоги стандартних пневмоциліндрів з необхідними параметрами, було виявлено, що вони не можуть забезпечити всі необхідні параметри одночасно, тому було прийнято рішення щодо створення власної конструкції пневмоциліндрів. Також не було виявлено аналогів необхідних роликів башмаків, поворотних дроселів та пристроїв фіксації, внаслідок чого було розроблено і їх конструкцію також. Шарнірні кріплення, які ми використали були створені з існуючих аналогів.

### 3.3.1. Фіксуючі пневматичні циліндри

Зважаючи на обмежений простір, гільзою для фіксуючих пневматичних пристроїв буде слугувати нерухомий блок поворотного дроселя. Внаслідок чого в нерухомому блоці, окрім дросельних отворів, буде виконано 5 торцевих отворів  $\varnothing 12$  в заглибинах блоку, які будуть розташовані з інтервалом в  $72^\circ$  один від одного та на відстані в  $36^\circ$  від ліній симетрії дросельних отворів, глибиною 16 мм (рис. 3.7).

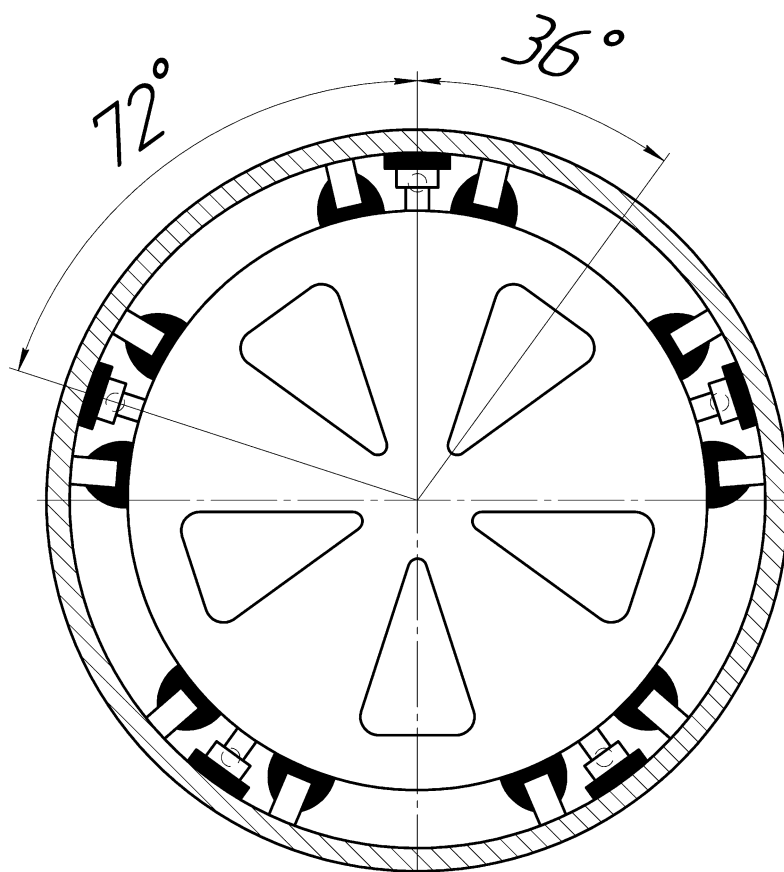


Рисунок 3.7 Розташування фіксуєчих пневмоциліндрів

При розрахунку глибини отворів враховувалися такі величини: хід штока (7 мм), розміри складеного поршня (7,2 мм), а також залишили 1,8 мм та продовжили отвір на 3 мм змінивши  $\varnothing 12$  на  $\varnothing 8$  для кріплення поршня та для забезпечення необхідного об'єму для зрушення поршня з місця. Отвори для підводу газу знаходяться на боковій поверхні корпусу, забезпечуючи їх зручне використання. Кришкою циліндру слугуватиме пластина  $32 \times 27$ , яка з внутрішньої сторони має циліндричне продовження, що слугуватиме направляючою штоку. Шток завдовжки 25 мм має різьбу завдовжки 6 мм для кріплення притискного механізму. Вибір кількості циліндрів обґрунтований необхідністю повної фіксації секцій. Оскільки труба, по якій буде проходити пристрій може мати різні дефекти, то при використанні меншої кількості затискних пристроїв існує можливість зрушення механізму з місця, внаслідок

не повного притискання одного з фіксуючих пристрої до труби, через її дефекти.

### 3.3.2. Циліндри повздовжнього переміщення

Для зменшення габаритних розмірів окрім невеликого ходу штока ( $s=0,05\text{ м}$ ) було виконано кріплення кришок до гільзи за допомогою зовнішньої різьби  $M20\times 0,5$ . При розробці конструкції було враховано, що для забезпечення шарнірного з'єднання між секціями з обох сторін циліндру необхідно закріпити муфти шарнірів. Таким чином, було вирішено, що до однієї сторони пневмоциліндрів, які виконують функцію повздовжнього переміщення, шарнір приєднується до кришки гільзи за допомогою сварки, а з іншої накручується на шток. Приєднання шарніру до кришки за допомогою сварки обумовлюється не доцільним використанням матеріалів та великою кількістю людино годин для виготовлення суцільної кришки з муфтою шарніра. Підвід газу в пневмоциліндр відбувається через кришки, що також зменшує габарити конструкції. З конструктивних міркувань було зроблено складальний поршень. Він складається з двох різних частин. Один півпоршень виготовлений з полим циліндричним виступом з технологічними наскрізними канавками шириною 4 мм для забезпечення руху штоку та можливості закручення гайки, яка тримає поршень. А інший півпоршень відрізняється невеликим циліндричним виступом завдовжки 2 мм, що прилягає до штоку і призначений для створення мінімального об'єму, який зможе привести шток в рух.

### 3.3.3. Циліндри повороту

Для забезпечення повороту регульованого дроселя, на відміну від зазначеного в розділі 2 приводу поворотного типу, було використано пневмоциліндр зворотно-поступальної дії. Шток розробленого циліндру з'єднаний з шатуном, завдяки чому зворотно-поступальний рух штоку циліндру перетворюється у обертовий рух поворотної частини регульованого дроселя (рис. 3.8), при чому максимальний хід штоку забезпечує повне перекриття секторних вікон.

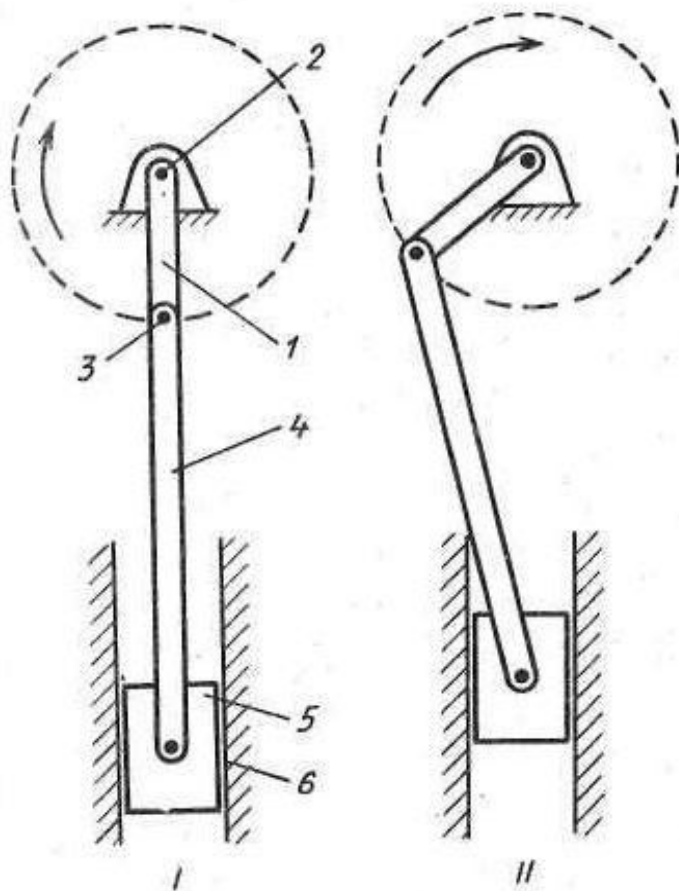


Рисунок 3.8 Схема принципу роботи кривошипно-шатунного механізму: 1 — кривошип, 2 — головний вал, 3 — палець кривошипу, 4 — шатун, 5 — повзун, 6 — направляючі [16]

#### 3.3.4. Поворотні дроселі

Нерухома частина дроселя виконана з кругляка  $\varnothing 125$  і товщиною 32 мм. П'ять дросельних вікон знаходяться на відстані  $72^\circ$  один від одного (рис. 3.9). Діаметр дроселя не дозволяв встановити фіксуючі пневмоциліндри, оскільки відстань між стінкою труби і дроселем дорівнює 12,5 мм. Цієї дожини було недостатньо для встановлення всіх необхідних пристроїв, тому було виконано зрізи, що дозволило збільшити простір. В центрі даних зрізів були зроблені отвори, які слугують гільзами для 5-ти пневмоциліндрів фіксації. Окрім цього, з двох сторін від штоків затискних пристроїв паралельно знаходяться отвори

Ø5,6 для встановлення пружин Ø6. Також в зрізах знаходяться отвори для кріплення кришки пневмоциліндрів. Окрім цього над дросельними вікнами розташовані технологічні канавки Ø4, які протягуються на 36°. Ці канавки заповнені шариками, за допомогою яких відбувається кріплення рухомої частини. Принцип дії такого кріплення схожий на кріплення частин підшипника, що забезпечує необхідний обертовий рух дросельної заслінки.

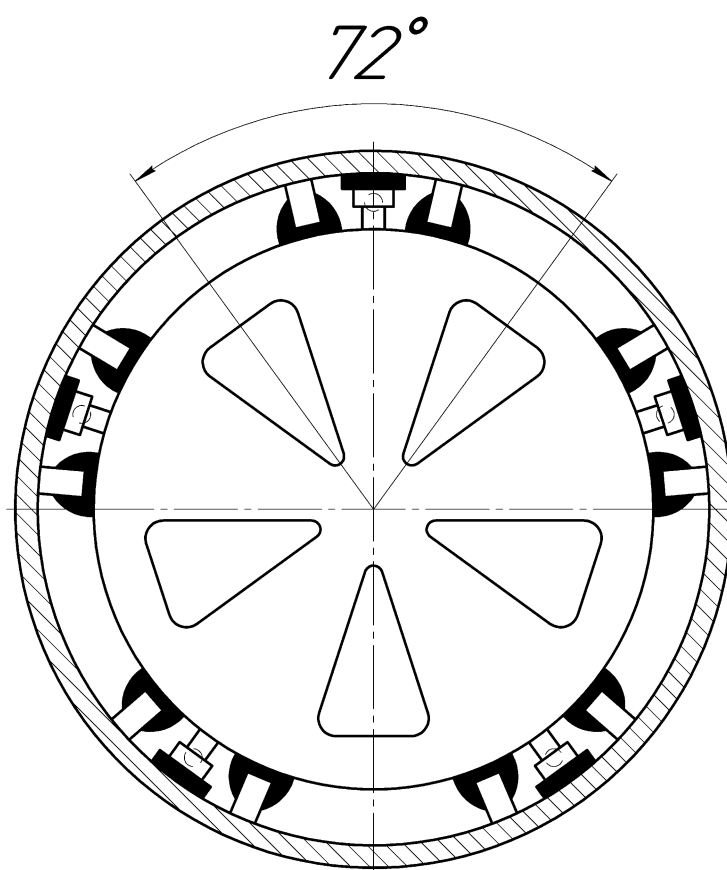


Рисунок 3.9 Розташування дросельних вікон в поворотному дроселі

Окрім меншої товщини (6 мм) рухома частина дроселя відрізняється від нерухомої відсутністю зрізів та протяжністю технологічних канавок. На відміну від нерухомої частини, де їх протяжність становила лише 36° в рухомій вона вдвічі більша та продовжена в ліву сторону, що дозволяє виконувати поворот. Також до рухомого дроселя приєднаний шатунний механізм, призначення якого розглядалося вище.



### 3.3.5. Шарнірні кріплення

Для з'єднання секцій та штоків фіксуючих пневмоциліндрів з пристроями фіксації було використано шарніри шарового типу (рис. 3.10).



Рисунок 3.10 Шаровий шарнір [17]

В першому випадку для забезпечення руху розробленого пристрою в двох площинах та подолання поворотів. Розміри шарнірів були підібрані таким чином, щоб повздовжній розмір пристрою та його секцій збільшилися на незначну величину. Що було необхідною умовою для можливості руху мобільного пристрою траєкторією газопроводу. Адже у випадку значних габаритів шарнірних з'єднань було б необхідно зменшити довжину ходу пневмоциліндрів для можливості подолання поворотів.

В іншому випадку до штоків фіксуючих циліндрів приєднано шаровий шарнір з обмеженим кутом повороту, для можливості уникнення неповної фіксації, внаслідок дефектів внутрішніх стінок газопроводу

### 3.3.6. Пристрої фіксації

Пристрій фіксації виконаний у вигляді гумової подушка, яка кріпиться до фланця шарніра фіксуючого циліндра, що допомагає пристрою щільно притискатися до стінок газопроводу.

### 3.3.7. Роликові башмаки

В отвори нерухомої частини дроселя вкручуються пружини  $\varnothing 6$  після чого до них кріпиться рама із з'єднаними між собою роликовими башмаками. Рама виконує функцію забезпечення рівноваги розроблених башмаків, що дозволяє штокові фіксуючого пневмоциліндру, та пристроям приєднаним до нього, рухатися без перешкод, а за допомогою пружин відбувається притискання роликових башмаків до стінок труби. Ролики башмаків знаходяться один від одного на відстані, яка забезпечує можливість подолання незначних отворів.

|     |      |          |       |      |  |                       |     |
|-----|------|----------|-------|------|--|-----------------------|-----|
|     |      |          |       |      |  | ДП01.МА5110.00.000 ПЗ | Док |
| Зм. | Док. | № докум. | Місце | Дата |  |                       | 65  |

## РОЗДІЛ 4. СИСТЕМА КЕРУВАННЯ

### 4.1 Принцип роботи мобільного пристрою

Робота мобільного пристрою відбувається наступним чином. Завдяки трьом керованим поворотним дроселям максимальний аеродинамічний опір виникає на 1-й, 2-й або 3-й секціях, завдяки зачиненим дроселям на відповідних ділянках. Якщо перша та друга секції зафіксовані відносно трубопроводу завдяки притискним пристроям, то аеродинамічний опір створює достатню силу, для пересування третьої секції відносно другої секції (при зачиненому дроселі третьої секції). При фіксації третьої та першої секцій або другої та третьої секцій аналогічним чином пересуваються друга або перша секції відповідно. Таким чином, шляхом чергування роботи притискних механізмів трьох секцій та відповідних дроселів відбувається пересування мобільного приладу на 1 крок. Відстань кроку дорівнює одному ходу міжсекційного пневматичного циліндру 7 або 8 (див. рис. 4.1) [11].

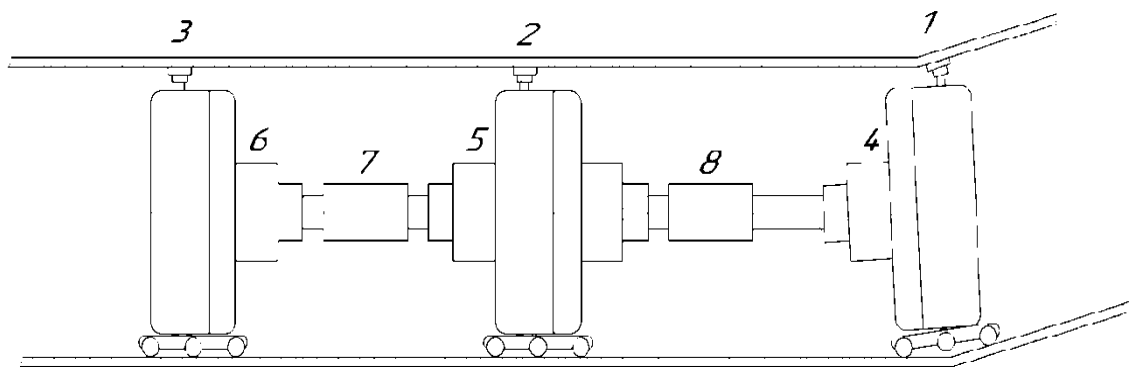


Рисунок 4.1 Схема розташування пневмоциліндрів на модульному мобільному пристрої, де 1, 2, 3 – притискні приводи; 4, 5, 6 – поворотні приводи; 7, 8 – приводи переміщення [11]

Запропонована система розпочинає роботу з 1-го циліндра (рис. 4.1), що викликає фіксацію третьої секції. Далі відбувається її пересування за допомогою

циліндра 4. Після того як секція зайняла крайню позицію, відбувається повернення циліндра 4 в початкове положення, після чого відбувається фіксація третьої секції за допомогою циліндра 1. Аналогічним чином відбувається послідовне пересування секцій і рух пристрою [11]:

$$1-4-8-\bar{4}-\bar{1}-2-5-\bar{8},7-\bar{5}-\bar{2}-3-6-\bar{7}-\bar{6}-\bar{3}$$

#### 4.1 Розробка системи керування мобільним пристроєм

Для розробки системи керування був побудований функціональний граф (рис. 4.2), виконано дослідження логічної невизначеності та доповнення елементом пам'яті 9. Остаточна послідовність дій має вигляд [11]:

$$1-4-8-\bar{4}-\bar{1}-2-9-5-\bar{8},7-\bar{5}-\bar{2}-3-6-\bar{7}-\bar{6}-\bar{3}-\bar{9}$$

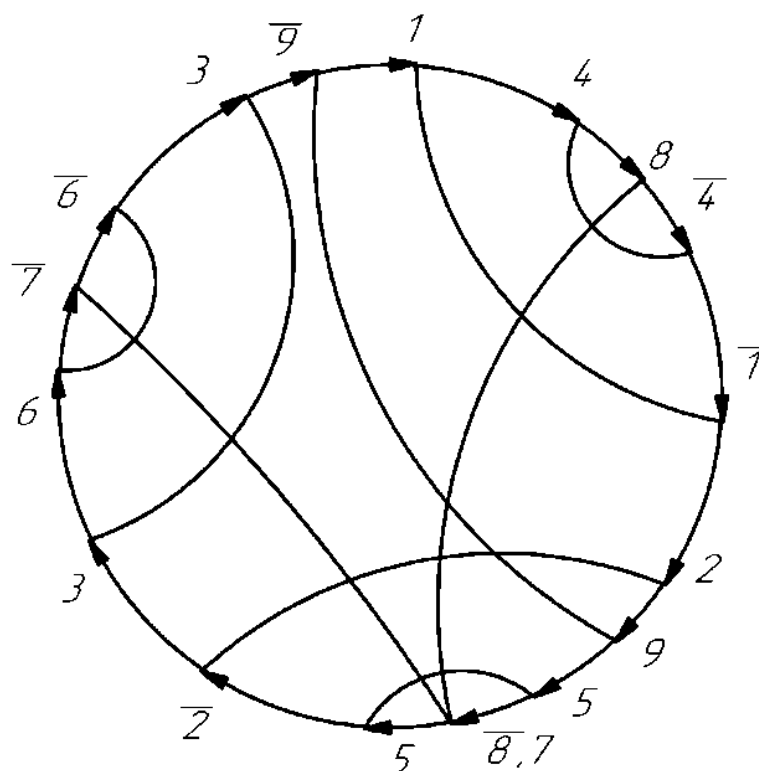


Рисунок 4.2 Результуючий функціональний граф [11]

Відповідно до послідовності дій виконавчих пристроїв, було складено вирази команд керування в бістабільному варіанті, запропоновано змішану

систему керування, що використовує засоби пневмоавтоматики і PLC, розроблено алгоритм керування рухом пристрою та передбачено дії приводів у випадках, передбачених умовами використання [11].

Вирази бістабільних команд керування [11]:

$$Y_1 \leq X_9 \cdot t_8 \cdot X_{start}$$

$$Y_1 \leq t_4 \cdot t_8$$

$$Y_2 \leq t_1 \cdot t_8$$

$$Y_2 \leq t_5 \cdot t_7$$

$$Y_3 \leq t_2 \cdot t_7$$

$$Y_3 \leq t_6 \cdot t_7$$

$$Y_4 \leq t_1 \cdot \overline{t_8}$$

$$Y_4 \leq t_8$$

$$Y_5 \leq X_9 \cdot t_8$$

$$Y_5 \leq t_7$$

$$Y_6 \leq t_3 \cdot t_7$$

$$Y_6 \leq t_7$$

$$Y_7 \leq t_5$$

$$Y_7 \leq t_6$$

$$Y_8 \leq t_4$$

$$Y_8 \leq t_5$$

$$Y_9 \leq t_2$$

$$Y_9 \leq t_7 \cdot t_3 \cdot \overline{t_8}$$

В розробленій схемі керування пристроєм, не використовуються датчики положення. Їх роль виконують таймери, внаслідок обмеженого простору в газопроводі. На кожен привід, окрім 7, припадає один таймер, який спрацьовує двічі (на висуванні та на втягування). Внаслідок

послідовності циклу, 7 пневмоциліндр, повинен мати різні таймери на кожен з процесів, для коректного пересування [11].

Команди таймерів [11]:

$$t_1 \leq X_9 \cdot t_8 \cdot X_{start} + t_4 \cdot t_8$$

$$t_2 \leq t_1 \cdot t_8 + t_5 \cdot t_7$$

$$t_3 \leq t_2 \cdot t_7 + t_6 \cdot t_7$$

$$t_4 \leq t_1 \cdot \overline{t_8} + t_8$$

$$t_5 \leq X_9 \cdot t_8 + t_7$$

$$t_6 \leq t_3 \cdot t_7 + t_7$$

$$t_7 \leq t_5$$

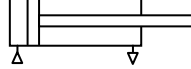
$$t_7 \leq t_6$$

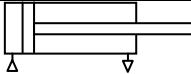

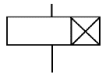
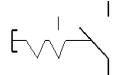
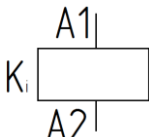
$$t_8 \leq t_4$$

#### 4.2 Підбір елементів електропневматичної системи керування

У разі застосування електропневматичної системи керування приладом було підібрано апаратуру (див. таблицю 2.1.).

Таблиця 2.1 – Підбір апаратури для електропневматичного керування мобільним пристроєм.

| Модуль   | Операція     | Виконавчі пристрої                                       | Позначення  | Кількість |
|----------|--------------|--|---|-----------|
| 1, 2, 3, | Фіксація     | Пневмоциліндр<br>двухсторонньої дії<br>(власна розробка) |  | 3         |
| 4, 5, 6  | Дроселювання | Пневмоциліндр<br>двухсторонньої дії<br>(власна розробка) |  | 3         |

|                        |                               |   |   |   |
|------------------------|-------------------------------|---|---|---|
| 7, 8                   | Повздовжнє переміщення        | Пневмоциліндр двухсторонньої дії (власна розробка)                      |                      | 2 |
| 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 | Керування КП                  | Пневморозподільник з електричним керуванням Festo VUVG-B18-B52-ZT-F-1P3 | <br>Бістабільний 5/2 | 8 |
| 1, 2, 3, 4, 5, 6; 7; 8 | Контроль часу                 | Реле часу Festo VZB-3-1/4   | <br>Ti               | 9 |
|                        | Кнопка увімкнення (вимкнення) | З фіксацією положення Schneider Electric ZB4BG2                         | <br>Si              | 1 |
|                        | Елемент пам'яті               | Електричне реле SDHX Electronic Relay Module Board                      | <br>A1<br>K<br>A2  | 1 |

В якості пневморозподільників було обрано пневморозподільники 5/2 з бістабільним електричним керуванням Festo VUVG-B18-B52-ZT-F-1P3. Згідно з каталогом, розподільник має такі характеристики: робочий тиск – 0,9 ... 10 бар, пілотний тиск – 1,5 ... 10 бар, витрата повітря – 1000 л/хв, час переключення – 0,011 с, умовний прохід – 7.3 мм, фланцевий робочий канал, маса – 160 г. Корпус виконано з алюмінієвого сплаву. Характеристики котушки 24 V DC: 1 W, 24 V DC: фаза утримання 0.3 W, потужність перемикання 1.0 W [18].

Для забезпечення затримки часу, в даному пристрої, вибрано реле часу Festo VZB-3-1/4 з діапазоном робочих тисків – 0 ... 10 бар, номінальною витратою 600 л/хв, приєднувальні отвори лінії керування – G1/8", інші мають





## РОЗДІЛ 5. ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ

На сьогоднішній день велика увага приділяється інтенсифікації та підвищенню ефективності виробництва на базі упровадження досягнень науково-технічного прогресу. Провідна роль у вирішенні даної проблеми відводиться машинобудуванню. Перед цією галуззю поставлені завдання підвищення якості продукції та продуктивності праці, зниження питомої металоємкості машин та обладнання. Саме тому технологічний процес виготовлення деталі має бути таким, щоб з найменшими витратами ресурсів забезпечити встановлений конструктором рівень якості [21].

У пояснювальній записці описані порядок і всі етапи розробки технологічного процесу виготовлення деталі «Півпоршень»: технологічний контроль якості кресленика, аналіз службового призначення деталі та умов її роботи у вузлі, вибір способу виготовлення заготовки та його технічне обґрунтування, визначення припусків та допусків аналоговим способом, призначення послідовності виконання операцій та проектування їх змісту, вибір устаткування та інструментів для кожної операції технологічного процесу та визначення елементів режимів різання аналоговим способом.

## 6.1 Технологічний розділ

### 6.1.1 Технологічний контроль якості кресленика

При проектуванні технологічного процесу виготовлення деталі вихідним документом є її креслення. Технолог повинен проконтролювати робоче креслення деталі, у відповідності до ГОСТ 14.206-73. У креслення входять відомості, необхідні для якісного виготовлення деталі, які дають повне уявлення про її конструкцію, а також усі проекції, розрізи, перерізи, які пояснюють конфігурацію деталі [22].

Проаналізувавши креслення можна сказати, що на кресленні вказані всі розміри, необхідні для виготовлення деталі. Не вказана шорсткість та шорсткість усіх поверхонь деталі позначена відповідно до ГОСТ 2789-73. Допуски та відхилення розмірів наведено відповідно до ГОСТ 25346-89 та ГОСТ 25347-82 [22].

#### 6.1.2 Аналіз службового призначення деталі та умов її роботи у вузлі

Деталь «Півпоршень» є складовою пневматичного циліндра, виконує зворотно-поступальний рух в середині гільзи під дією тиску.

Дана деталь має досить просту зовнішню форму. Її можна віднести до класу спеціальних деталей. Деталь «Півпоршень» має отвір  $\varnothing 3H7$  з шорсткістю  $Ra = 0,8 \text{ мкм}$ , канавку під гумове ущільнення  $\varnothing 5 \pm 0,1$  та канавку яка забезпечуватиме мінімальний об'єм для забезпечення руху пневмоциліндра  $\varnothing 8_{-0,1}$ . Не вказана шорсткість  $Ra = 1,6 \text{ мкм}$ . Габаритні розміри деталі –  $10,5 \times 3,6$ . Невказані граничні відхилення валів виконані за ДСТУ ISO 2768-с. Деталь зображено на рис. 6.1.

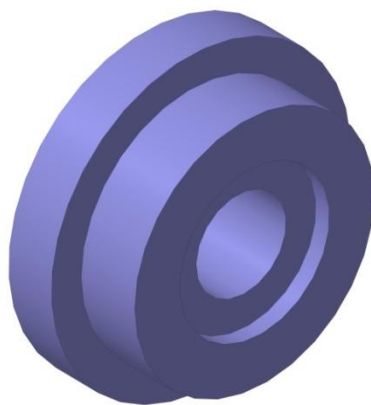


Рисунок 6.1 Півпоршень

Півпоршень виготовляється з АБС-пластику QSD-0180, що призначений для виготовлення удароміцних виробів технічного і побутового призначення,

|     |      |          |      |      |                       |  |      |
|-----|------|----------|------|------|-----------------------|--|------|
|     |      |          |      |      | ДП01.МА5110.00.000 ПЗ |  | ДЛРК |
| Зм. | ЛРК. | № докум. | Лист | Дата |                       |  | 73   |

фізико-механічні, хімічні та технологічні властивості якої приведено в табл. 6.1 [23].

Таблиця 6.1 Характеристика матеріалу АБС-пластику QSD- ГОСТ 33366.1-2015 ISO 1043-1:2011 [23]

| Механічні характеристики                                       |          |
|--|----------|
| Показники  | Значення |
| Міцність при розтягу, МПа                                      | 30       |
| Міцність при згині, МПа  | 80       |
| Модуль пружності, МПа  | 6500     |
| Твердість по Роквеллу, НВ                                      | 82       |
| Відносний розтяг при розриві, %                                | 39       |
| Ударна в'язкість по Изоду 1/4" (надрізом), Дж/м                | 44       |
| Ударна в'язкість по Изоду 1/8" (надрізом), Дж/м                | 55       |
| Термічні характеристики  |          |
| Показники  | Значення |
| Температура початку деформації, °С                             | 82       |
| Температура розм'якшення по Віка при 5 кг/см <sup>2</sup> , °С | 89       |
| Фізичні характеристики   |          |
| Показники  | Значення |
| Щільність при 23°С, г/см <sup>3</sup>                          | 1,01     |
| Показник текучості розплаву при 220 °С і 10 кг, г/10хв         | 7,1      |
| Показник текучості розплаву при 220 °С і 5 кг, г/10хв          | 0,7      |
| Усадка при 23°С, %   | 0,3-0,6  |
| Ступінь стійкості до горіння, НВ                               | 1        |
| Масова доля води не більше                                     | 0,1      |
| Масова доля летючих речовин менше, %                           | 0,1      |

### 6.1.3 Вибір способу виготовлення заготовки та його технічне обґрунтування

Розробку технологічного процесу виготовлення деталі починають з вибору заготовки. Вибрати заготовку – означає визначити спосіб її отримання, розрахувати або підібрати за таблицями припуски на механічну обробку усіх поверхонь і вказати допуски на виготовлення заготовки. З економічної точки зору та враховуючи малосерійний тип виробництва, матеріал деталі та її конфігурації у якості заготовки приймаємо калібрований круг  $\varnothing 12^{+0,2}_{-0,8}$ , ескіз якої наведено на рис. 6.2, а 3D модель – на рис. 6.3.

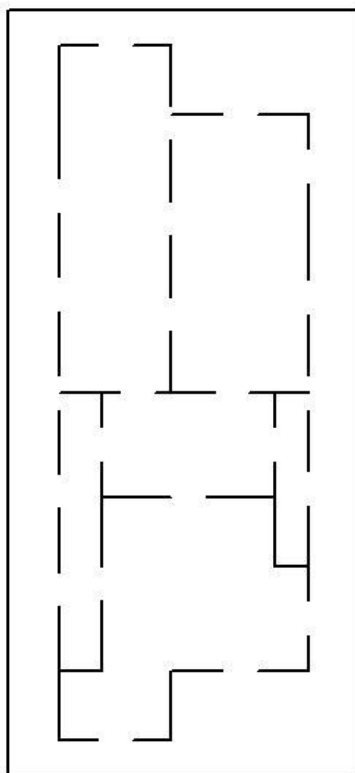


Рисунок 6.2 Ескіз заготовки

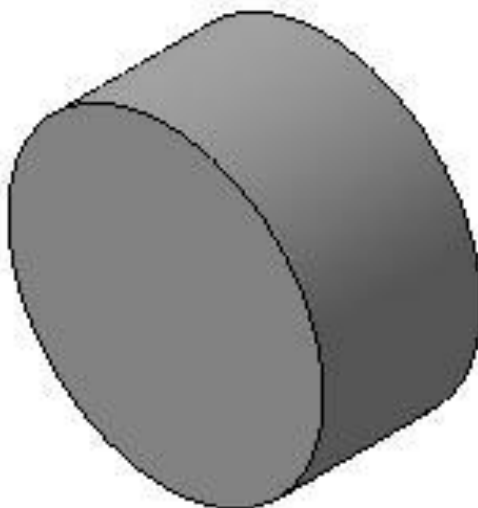


Рисунок 6.3 3D модель заготовки

Користуючись ГОСТ 7505-89 визначимо розміри заготовки, призначивши припуски та допуски на основні оброблювані поверхні.

Всі дані занесемо до табл. 6.2.

Таблиця 6.2 Визначення припусків на сторону, допусків для розмірів основних оброблюваних поверхонь

|    |  |       |       |        |
|----|--|-------|-------|--------|
| 1. | Розмір поверхні деталі оброблюваної різанням, мм | Ø10f7 | Ø8    | L=3,6  |
| 2. | Шорсткість обробленої поверхні, Ra мкм           | Ra1,6 | Ra1,6 | Ra 6,3 |
| 3. | Основний припуск на сторону, мм                  | 1     | 2     | 1,5    |
| 4. | Прийнятий розмір заготовки, м                    | Ø12   | Ø12   | 6,6    |

|    |                                  |                                |                               |               |
|----|----------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|---------------|
| 5. | Підсумковий розмір<br>прутка, мм | $\varnothing 12^{+0,2}_{-0,8}$ | $\varnothing 8^{+0,2}_{-0,8}$ | $6,6 \pm 0,5$ |
|----|----------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|---------------|

## 6.2. Проектування маршрутного технологічного процесу

### 6.2.1. Вибір типового технологічного процесу

На рис. 6.4 зображено послідовність оброблення поверхонь деталі «Півпоршень», а в табл. 6.3 наведено варіанти їх оброблення. Проте, при розробці технологічних процесів необхідно враховувати, що похибки відхилення форми і, особливо, взаємного розташування оброблених поверхонь в основному визначаються точністю обладнання і пристроїв.

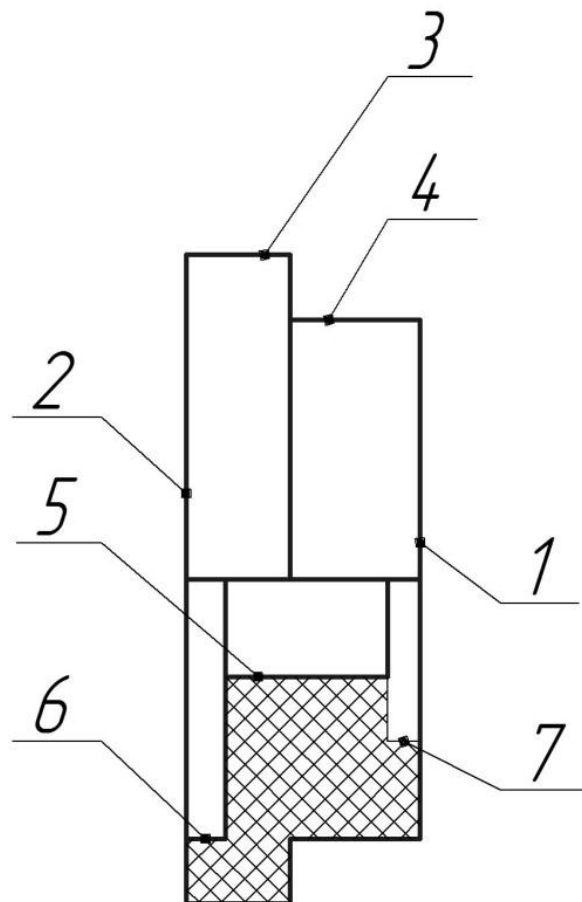


Рисунок 6.4 Послідовність оброблення поверхонь деталі «Півпоршень»

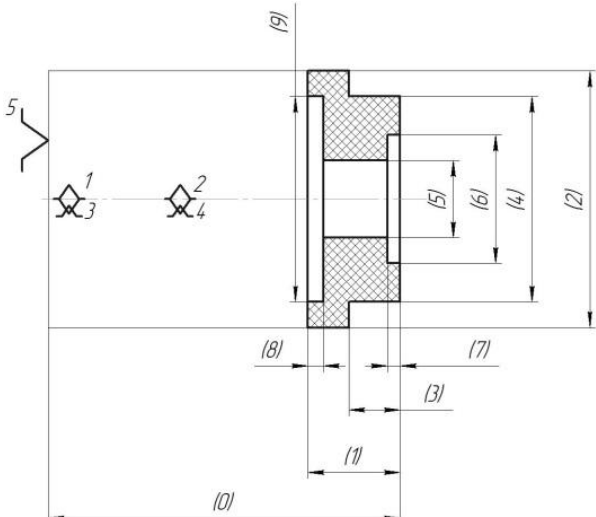
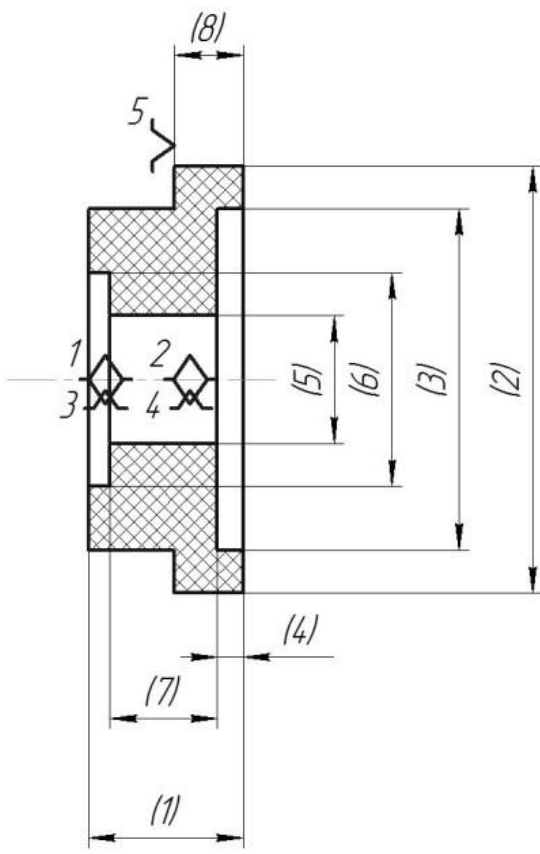
Таблиця 6.3 Типові технологічні послідовності оброблення, прийняті для оброблення робочих поверхонь деталі «Півпоршень»

| № | Назва поверхні,<br>габаритні розміри, поля допусків,<br>шорсткість | Назва операції  |
|---|--|---|
| 1 | Плоска поверхня (торець), Ø10,<br>Ra1,6                            | підрізання<br>торця   |
| 2 | Плоска поверхня (торець), Ø8,<br>Ra1,6                             | підрізання<br>торця   |
| 3 | Зовнішня циліндрична, Ø10f7,<br>Ra1,6                              | точіння чорнове<br>точіння напівчистове<br>точіння чистове              |
| 4 | Зовнішня циліндрична, Ø8f9,<br>Ra1,6                               | точіння чорнове<br>точіння напівчистове<br>точіння чистове              |
| 5 | Внутрішня циліндрична<br>Ø3H7 Ra0,80                               | центрування<br>свердління<br>розвертання чорнове<br>розвертання чистове |
| 6 | Внутрішня циліндрична<br>Ø8  | точіння   |
| 7 | Внутрішня циліндрична<br>Ø5  | точіння   |

#### 6.2.2 Розробка маршрутного технологічного процесу

При розробці маршрутної технологічного процесу для реалізації кожної технологічної операції встановлюють групу та модель верстата, необхідні пристрої та інструменти. Один з можливих варіантів наведено в табл. 6.4.

Таблиця 6.4 Варіант маршрутного технологічного процесу

| № операції | Назва операції та теоретична схема базування   | Пристрій              | Інструменти  |
|------------|--|-----------------------|--|
| 005        | Багатоцільова<br>   | 3-х кулачковий патрон | Різець прямий прохідний, різець контурний, свердло центрувальне, свердло Ø2, фреза торцева Ø10.              |
| 010        | Багатоцільова<br> |                       | Різець прямий прохідний, різець контурний, свердло центрувальне, розвертка чорнова Ø3, розвертка чистова Ø3. |



Для виконання операцій 005, 010 обираємо комбінований токарний верстат Prota SKF-800 [24].

### 6.3 Проектування змісту технологічних операцій

#### 005 Багатоцільова

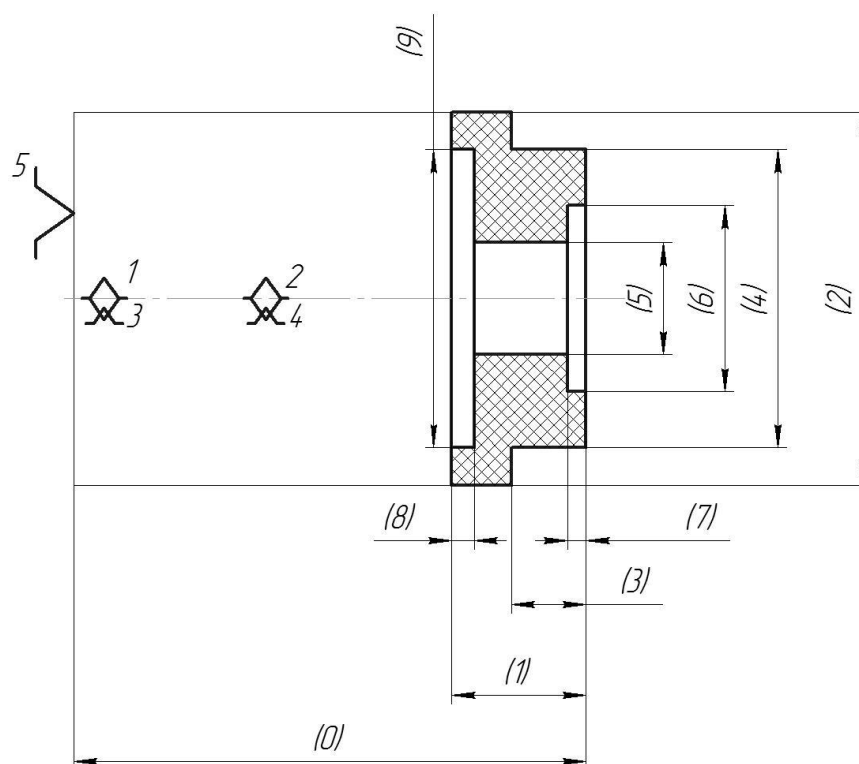


Рисунок 6.6 Назва операції та теоретична схема базування

А. Установити, закріпити, зняти.

005.01 Підрізати торецеву поверхню 1, витримуючи розміри 0, 4.

005.02 Точити зовнішню циліндричну поверхню, попередньо, витримуючи розміри 1,2.

005.03 Точити зовнішню циліндричну поверхню, попередньо, витримуючи розміри 3,4.

005.04 Точити зовнішні циліндричні поверхні, послідовно остаточно, витримуючи розміри 1,2, 3; 4.

005.05 Точити канавку, витримуючи розміри 6, 7.

005.06 Центрувати отвір, витримуючи розміри 1, 4.

005.07 Свердлити отвір, витримуючи розміри 1,5.

010 Багатоцільова

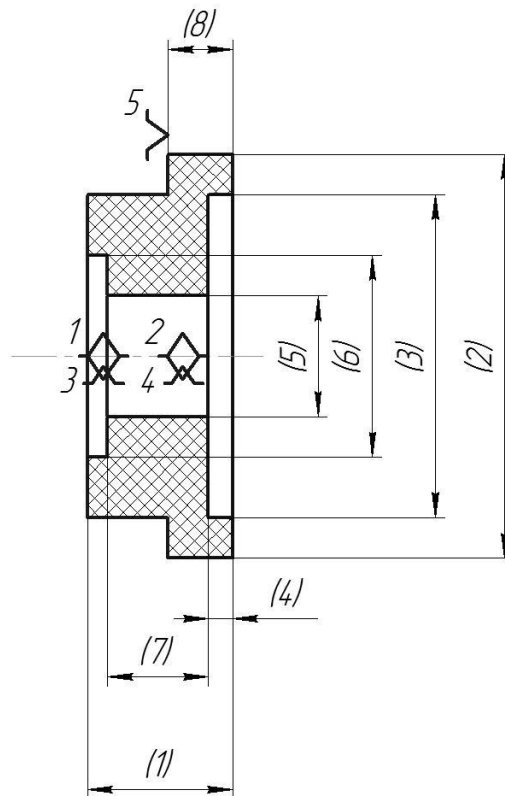


Рисунок 6.6 Назва операції та теоретична схема базування

А. Установити, закріпити, зняти.

010.01 Підрізати торецеву поверхню 2, витримуючи розміри 1, 2.

010.02 Точити зовнішню циліндричну поверхню, остаточно, витримуючи розміри 2, 8.

010.03 Точити канавку, витримуючи розміри 4, 3.

010.04 Центрувати отвір, витримуючи розмір 1.

010.05 Свердлити отвір, витримуючи розміри 1, 5.

010.06 Розвертати отвір попередньо, витримуючи розміри 5', 7.

010.07 Розвертати отвір остаточно, витримуючи розміри 5'', 7.

## РОЗДІЛ 6. ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини у процесі трудової діяльності. Мета охорони праці – звести до мінімуму можливість ураження чи захворювання працюючого з одночасним забезпеченням максимальної продуктивності праці [25].

В моїй дипломній роботі «Мобільний пристрій для тестування газопроводу» в даному розділі «Охорона праці» будуть розглянуті загальні питання охорони праці про умови роботи під час проектування дипломної роботи.

### 7.1 Загальна характеристика мікроклімату робочої зони під час роботи над дипломною роботою

Робочою зоною являлась аудиторія 299-2 1-го корпусу, яка була постійним робочим місцем під час розробки дипломної роботи. Величини показників мікроклімату у робочій зоні порівнюються з оптимальними показниками умов мікроклімату приміщень. Виходячи з «Санітарних норм мікроклімату виробничих приміщень» ДСН 3.3.6.042-99, визначаємо дану роботу, як легку фізичну роботу (категорія І) при якій витрата енергії дорівнює 105 - 140 Вт (90 – 120 ккал/год.) - категорія Іа, тобто робота, що виконуються сидячи і не потребують фізичного напруження [26].

Мікрокліматичні умови приміщень характеризуються такими показниками: температура повітря, відносна вологість повітря, швидкість руху повітря, інтенсивність теплового (інфрачервоного) опромінення, температура поверхні [26].

Нормалізація несприятливих мікрокліматичних умов здійснюється за допомогою комплексу заходів та способів, які включають: будівельно-планувальні, організаційно-технологічні, санітарно-технічні та ін. заходи колективного захисту [26].

## 7.2 Освітлення робочого приміщення

Серед чинників зовнішнього середовища, що впливають на організм людини в процесі праці, головне місце відводиться світлу. Недостатня або надмірна освітленість, нерівномірність освітлення в полі зору втомлює очі, призводить до зниження продуктивності праці, при цьому зростає потенційна небезпека помилкових дій і нещасних випадків. Надмірна яскравість джерел світла може спричинити головний біль, різь в очах, розлад гостроти зору, світлові відблиски – тимчасове засліплення [26].

Приміщення з постійним перебуванням людей повинно мати, як правило, природне освітлення, проте природньому освітленню властиві і недоліки: воно непостійне в різні періоди доби та року, в різну погоду; нерівномірно розподіляється по площі виробничого приміщення; при незадовільній його організації може викликати засліплення органів зору [26].

Штучне освітлення передбачається в усіх виробничих та побутових приміщеннях, де недостатньо природного світла, а також для освітлення приміщень у темний період доби, під час якого також проводилась робота над дипломним проектом. При розрахунку штучного освітлення було забезпечено сприятливі гігієнічні умови для зорової роботи [26].

Схема розміщення світильників представлена на рис. 7.1.

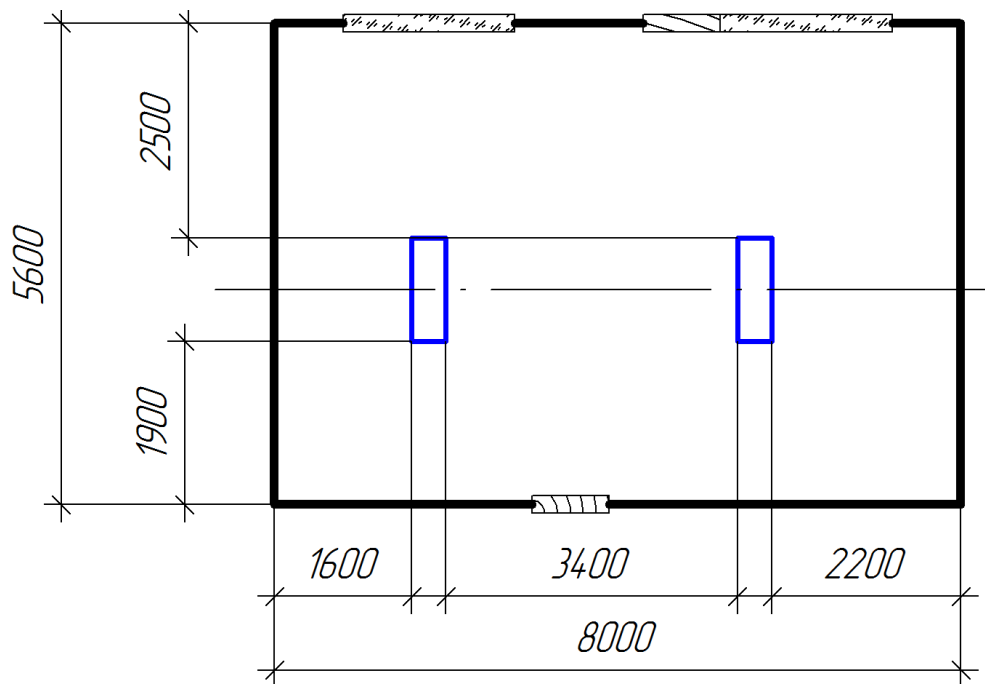


Рисунок 7.1 Схема розташування світильників у робочому приміщенні

На підставі характеристики системи освітлення і розмірів приміщення визначимо фактичну освітленість у приміщенні. Для цього визначаємо індекс приміщення  $i$  по формулі (1) [26]:

$$i = \frac{a \cdot b}{h_c \cdot (a + b)} = \frac{5,6 \cdot 8}{1,6 \cdot (5,6 + 8)} = 2,05, \quad (1)$$

де  $a = 5,6 \text{ м}$  і  $b = 8 \text{ м}$  довжина і ширина приміщення,

$h_c = 1,6 \text{ м}$  – висоту підвісу світильника над робочою поверхнею.

Виходячи з індексу приміщення ( $i$ ) та коефіцієнтів відбиття стелі, стін і підлоги ( $\rho_{cl}$ ,  $\rho_{cn}$ ,  $\rho_n$ ), визначили коефіцієнт використання світлового потоку  $\eta$ .

Стеля приміщення свіжопобілена  $\rho_{cl} = 70\%$ , стіни мають світлобежевий колір  $\rho_{cn} = 50\%$ , підлога з дубового паркету  $\rho_n = 30\%$ . Висота робочої поверхні  $h_p$  становить  $0,8 \text{ м}$  [26].

Для встановленої системи освітлення визначимо нормоване значення освітленості, яке залежить від характеристики зорової роботи при роботі над дипломною роботою:  $s_o = 3 \text{ мм}$  – мінімальний розмір об'єкта, що розпізнається,

характеристика фону – світла, контраст об'єкта розпізнавання з фоном – великий [26].

З заданих параметрів можемо встановити, що  $E_n = 200 \text{лк}$ .

Виходячи з типу ламп, а саме дволампові світильники ЛХБ 40 потужністю 40 Вт, світловий потік відповідатиме значенню  $F_l = 3100 \text{лм}$ .

Визначаємо фактичне значення освітленості в приміщенні  $E_\phi$  за формулою (2) [26]:

$$E_\phi = \frac{F_l \cdot N \cdot n \cdot \eta}{S \cdot k_3 \cdot z}, \quad (2)$$

Де  $N = 2$  – кількість світильників, од.,

$n = 2$  – кількість ламп в світильнику, од.,

$\eta = 0,56$  – коефіцієнт використання світлового потоку,

$S = 44,8 \text{ м}^2$  – площа приміщення,

$k_3 = 1,5$  – коефіцієнт запасу,

$z = 1,1$  – коефіцієнт нерівномірності.

$$E_\phi = \frac{3100 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 0,56}{44,8 \cdot 1,5 \cdot 1,1} = 93,9 \text{лк}$$

Порівняємо фактичне значення освітленості, що створює у приміщенні задана система загального штучного освітлення, з нормативним значенням штучного освітлення робочої зони [26]:

$$\frac{E_n - E_\phi}{E_n} \cdot 100\% = \frac{200 - 93,9}{200} \cdot 100\% = 53\%$$

Оскільки маємо невідповідність освітленості приміщення нормам, розрахуємо необхідну кількість світильників та зобразимо умовну схему їх розташування.

Світловий потік  $F_l$ , необхідний для досягнення оптимального значення освітленості [26]:

$$F_{\text{л}} = \frac{S \cdot k_3 \cdot z \cdot E_{\text{н}}}{Np \cdot n \cdot \eta} = \frac{44,8 \cdot 1,5 \cdot 1,1 \cdot 200}{2 \cdot 2 \cdot 0,56} = 6600_{\text{лк}}$$

Обираємо підвісний світлодіодний освітлювач LINER-M60 6600Lm 60w, який створює при напрузі 60В світловий потік  $F_{\text{л}} = 6600_{\text{лм}}$ .

Перерахуємо фактичне значення освітленості з оптимальними світильниками:

$$E_p = \frac{F_{\text{л}} \cdot Np \cdot n \cdot \eta}{S \cdot k_3 \cdot z} = \frac{6600 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 0,56}{44,8 \cdot 1,5 \cdot 1,1} = 200_{\text{лк}}$$

Повторно проведемо порівняння фактичного значення освітленості з нормативним значенням штучного освітлення робочої зони [26]:

$$\frac{E_{\text{н}} - E_p}{E_{\text{н}}} \cdot 100\% = \frac{200 - 200}{200} \cdot 100\% = 0\%$$

На підставі отриманих результатів можна відзначити відповідність перерахованої системи штучного освітлення у розглянутому приміщенні нормативним вимогам, оскільки тепер, відхилення фактичного значення від нормативного менше ніж 10% (в нашому випадку відхилення рівне 0), отже, можна затвердити введення в експлуатацію нових підвісних світильників, без зміни схема розташування світильників у робочому приміщенні (рис. 7.1).

### 7.3 Електробезпека аудиторії

Аудиторія 299-2 належить до не виробничих приміщень. Світильники надійно підвішені до стелі й мають світлорозсіювальну арматуру. Корпуси й кришки електровимикачів і електророзеток не мають відколів і тріщин, а також відсутні оголені контакти. Усі електророзетки та пристрої промарковані за номінальною напругою. [28]

Основні причини нещасних випадків, пов'язаних із дією електричного струму, можна об'єднати у такі групи [28]:

– випадкове доторкання до струмопровідних частин, що перебувають під напругою;

– несправність захисних засобів, якими потерпілий доторкався до струмопровідних частин;

– поява напруги на металевих частинах електрообладнання унаслідок пошкодження ізоляції струмопровідних частин електрообладнання, замикання фази на землю тощо;

– виникнення крокової напруги навколо струмопровідної лінії, яка торкається землі, на її поверхні або підлозі, де стоїть людина, унаслідок замикання проводу на землю чи несправності заземлення.

Отже, щоб звести до мінімуму ризик ураження електричним струмом, перед тим, як вмикати електроприлад, необхідно;

– візуально перевірити електрошнур на наявність механічних ушкоджень;

– при необхідності електроприлади мають бути надійно заземлені згідно з правилами їх встановлення;

– не працювати з електроприладами вологими руками;

– не залишати електроприлади без нагляду на тривалий час;

– після закінчення роботи перевірити, чи всі прилади вимкнені;

– у разі виявлення несправності негайно викликати електрика.

#### 7.4 Пожежна безпека корпусу

У дипломній роботі для забезпечення пожежної безпеки в приміщенні, в якому відбувався процес створення дипломної роботи, передбачено проведення ряду заходів.

Протипожежний захист 1-го корпусу КПІ ім. Ігоря Сікорського дотримується таких документів:

1. Кодекс цивільного захисту України;



2. Нові Правила пожежної безпеки в Україні 2014. НАПБ А.01.001-2014;

3. Правила пожежної безпеки для закладів, установ і організацій системи освіти України.

Пожежну небезпеку корпусу характеризує наявність таких показників:

1. Великої кількості різних горючих речовин та матеріалів в кожному приміщенні (меблі, предмети гардеробу, вироби з пластмас, матеріали для оздоблення, товари побутової хімії, науково-дослідні стенди, вогненебезпечні мастила та ін.).

2. Джерел запалення.

3. Шляхів розповсюдження пожежі (по горючому оздобленню, по пустотам будівельних конструкцій, по вентиляційні каналам).

Пожежна небезпека корпусу полягає у:

– відсутності пожежної спеціальної техніки, необхідної для евакуації людей;

– великому часі необхідному для евакуації людей (внаслідок великої протяжності будівлі та значній кількості людей довго діставатися до евакуаційних шляхів);

– темних та незручних евакуаційних виходах, що значно ускладнює їх використання;

– швидкому розповсюдженні диму по сходовим клітинам та коридорам.

Устрій протипожежного захисту:

– установка димовидалення із коридорів;

– внутрішній протипожежний водопровід;

Черговий персонал в будівлі ознайомлений з призначенням та принципом роботи пристроїв систем протипожежного захисту та вміє їх використовувати.

Основні запобіжні заходи і правила пожежної безпеки при експлуатації електричних та нагрівальних приладів, що використовуються у побуті, такі [27, 28]:

- нагрівальні прилади можна встановлювати тільки на негорючі підставки;
- забороняється залишати прилади, що включені, без нагляду;
- забороняється включати в одну розетку одночасно декілька приладів;
- необхідно спостерігати за щільністю контактів в місцях приєднання проводів приладів до вилки, клем між собою тощо;
- небезпечно замінювати запобіжники, що перегоріли, в приладах саморобними або плавкими запобіжниками;
- забороняється користуватися саморобними приладами.

Таким чином при розробці даного розділу було розглянуто такі питання охорони праці:

1. Мікроклімат робочого середовища;
2. Освітлення робочого місця;
3. Електробезпека аудиторії;
4. Пожежна безпека корпусу.

Також було проведено розрахунок освітленості приміщення і надано рекомендації, щодо збільшення освітленості аудиторії. Загалом умови праці на робочому місці та загальна безпека приміщення відповідає основним нормам.

## ВИСНОВОК

В даній дипломній роботі був розроблений модульний мобільний пристрій для перевірки внутрішнього стану стінок газопроводів.

Під час створення модульного мобільного пристрою було:

- 1) проведено аналіз існуючих приладів, для аналізу газопроводів;
- 2) обґрунтовано вибір елементів, які входять до складу пристрою;
- 3) проведено статичні та динамічні розрахунки пневматичних приводів, які використовуються в пристрої;
- 4) створено систему електропневматичного керування пристроєм;
- 5) обґрунтовано конструктивні особливості елементів розроблюваного пристрою;
- 6) створено 3D модель пристрою.

Особливістю даної розробки є те, що енергія природного газу, який передається по газогонам, приводить в рух пневматичний привід, який в свою чергу забезпечує рух створеного механізму. Тобто модульний мобільний пристрій для перевірки внутрішнього стану стінок газопроводів на відміну від інших пристроїв, які виконують такі ж функції, не потребує відімкнення ділянки, що перевіряється від газопостачання. Також даний пристрій можна використовувати для перевірки важкодоступних газопроводів без зайвих економічних затрат.

В подальшому керування пристроєм буде виконано за допомогою контролера Arduino мовою C+. Також буде вдосконалено конструкцію, для збільшення можливих для подолання кутів та радіусів повороту. Буде вирішено проблему щодо спрямування пристрою при розгалуженні газопроводу. Також планується створення експериментального прототипу для підтвердження роботи спроможності пристрою.

|     |     |          |      |      |  |                       |        |
|-----|-----|----------|------|------|--|-----------------------|--------|
|     |     |          |      |      |  | ДП01.МА5110.00.000 ПЗ | Д.А.РК |
| Зм. | Дж. | № докум. | Лист | Дата |  |                       | 90     |

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. <http://utg.ua/utg/gts/trunk-pipelines.html>
2. <http://trubamaster.ru/obslyuzhivanie/diagnostika-truboprovodov.html>
3. Pat. 0089738 European patent application, Int. Cl. F16L 55/00.  
Pipeline gauging vehicle [Text] / Prentice, Ian - applicant British Gas Corporation - representative Wallace, Walter - №83300583.8 ; date of filling 04.02.83 ; date of publication of application 28.09.83, Bulletin 83/39 - 17pages - 3illustrations.
4. Pat. 3460028 United States Patent Office, Int. Cl. G01r 33/12.  
Pipeline inspection apparatus with means for correlating the recorded defect signals with the angular position within the pipeline at which they were generated [Text] / Beaver, Ruby C., Wood, Fenton M. - US3460028DA.8 ; date of filling 11.03.67 ; date of publication of application 08.05.69.
5. Pat. 3483466 United States Patent Office, Int. Cl. G01r 33/12.  
Pipeline inspection apparatus for detection of longitudinal defects [Text] / Alfred E Crouch, Ruby C Beaver. - US3483466A; date of filling 03.11.67 ; date of publication of application 09.12.69.
6. Пат. 2382934 Російська Федерація, МПК F17D 5/02 (2006.01), F16L 55/26 (2006.01). Дефектоскоп-снаряд для внутритрубного обстеження трубопроводов [Текст] / Заморозков В. Б. ; заявитель и патентообладатель Заморозков В. Б. - № 2008135840/06 ; заявл. 04.09.2008 ; опубл. 27.02.2010, Бюл. № 6. - 10 с.
7. [https://robotics.ua/news/service\\_robots/4975-ibot\\_thesbot\\_robot\\_for\\_inspection\\_of\\_pipelines](https://robotics.ua/news/service_robots/4975-ibot_thesbot_robot_for_inspection_of_pipelines)
8. <https://www.hibot.co.jp/ecommerce/prod-detail/10>
9. [http://www.ncontrol.ru/catalog/rentgenovskiy\\_kontrol/rentgenovskie\\_kroulery/rentgenograficheskie\\_kroulery\\_jme\\_24](http://www.ncontrol.ru/catalog/rentgenovskiy_kontrol/rentgenovskie_kroulery/rentgenograficheskie_kroulery_jme_24)
10. <https://teleinspekciya.ru/sistema-teleinspekcii-trub-hunter-s-locatorom>

11. Космина С. Ю. Система приводів модульного мобільного пристрою [Електронний ресурс] / С. Ю. Космина, К. С. Голіченко, О. П. Губарев. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: [http://imm-mmi.kpi.ua/proc/article/view/166796/pdf\\_14](http://imm-mmi.kpi.ua/proc/article/view/166796/pdf_14).

12. Герц Е. В. Расчет пневмоприводов. Справочное пособие. / Е. В. Герц, Г. В. Крейгин. – Москва: Машиностроение, 1975. – 272 с.

13. Пневмоциліндри поршневі. Технічні умови (ГОСТ 15608-81) : 1983. – 20 с.

14. Герц Е. В. Пневматические приводы / Е. В. Герц. – Москва: Машиностроение, 1969. – 358 с.

15. Методические указания к лабораторным работам по курсу «Пневмопривод», ч.ІІ.-Київ : КПИ – 1981.

16. <https://www.ktovdome.ru/57/378/143/>

17. <http://techvitas.by/ru/catalog/soedinitelnye-elementy/gn-782-uporno-sharovyy-sharnir>

18. <https://www.landefeld.com/artikel/en/vuvg-b18-b52-zt-f-1p3-574451-solenoid-valve/OT-FESTO040699>

19. [https://www.festo.com/net/ru\\_ru/SupportPortal/default.aspx?cat=1703&q=3488&documentId=345170&tab=29&s=t](https://www.festo.com/net/ru_ru/SupportPortal/default.aspx?cat=1703&q=3488&documentId=345170&tab=29&s=t)

20. <https://www.schneider-electric.com/en/product/XB4BD21/black-selector-switch-ø22-2-position-stay-put-1no-600v/>

21. Технологія машинобудування: [Текст]: метод. вказівки до практичних занять та самостійної роботи для бакалаврів напряму підготовки 6.050502 "Інженерна механіка" /Уклад.: С.С.Добрянський, В.К.Фролов, Ю.М. Малафєєв – К.: НТУУ «КПІ», 2012. - 67 с. (електронне видання).

22. Расчет припусков и межпереходных размеров в машиностроении / Я. М.Радкевич, В. А. Тимирязев, А. Г. Схиртладзе, М. С. Островский. – Под ред. В. А. Тимирязева. Учебное пособие для машиностроит. спец. вузов. - 2-е

изд. стер. - М.: Высш. шк., 2007. - 272 с. – Для студентов машиностроительных специальностей вузов.

23. Чабаненко А. В. Модели и методики обеспечения качества корпусных элементов, выполненных по аддитивным технологиям : дис. канд. техн. наук : 05.02.23 / Чабаненко А. В. – Санкт-Петербург, 2019. – 217 с.

24. <http://www.promast.com.ua/stanki-i-instrument/metalloobrabatyvayushchie-stanki/kombinirovannye-tokarnye-stanki/kombinirovannye-tokarnye-stanki-2.html>

25. Закон України «Про охорону праці» від 20 січня 2018 р. // Відомості Верховної Ради України. – 1992. – № 49 – ст. 668.

26. ДСН 3.3.6.042-99. «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» від 1 грудня 1999 р.

27. Закон України «Про затвердження Правил пожежної безпеки в Україні» від 3 жовтня 2017 р.

28. НПАОП 40.1-1.21-98. «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів» від 9 січня 1998 р.